

18.030

**BIBLIOTECA AGROPECUARIA
DE COLOMBIA**

**CORPORACIÓN COLOMBIANA DE INVESTIGACIÓN
AGROPECUARIA
SUBDIRECCIÓN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN
PROGRAMA EPIDEMIOLOGÍA VEGETAL**

ANALIZADO

MEMORIAS DEL CURSO

INTRODUCCIÓN A LA DINÁMICA DE PLAGAS

C.I. TIBAITATÁ, NOVIEMBRE 18 AL 22 DE 1996

**CORPORACIÓN COLOMBIANA DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA
SUBDIRECCIÓN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN
PROGRAMA EPIDEMIOLOGÍA VEGETAL**

INTRODUCCIÓN A LA DINÁMICA DE PLAGAS

PROGRAMA

Lunes 18 de noviembre

08.00	9.00	Inscripción de participantes
09.00	9.30	Instalación
09.30	10.30	Enfoque de investigación en sistemas de producción Mandius Romero - CORPOICA
10.30	10.45	Receso
10.45	12.00	Importancia de los estudios de dinámica de plagas Edgar Martínez Granja - CORPOICA
12.00	01.30	Almuerzo
01.30	02.30	Importancia del diagnóstico en enfermedades de plantas María Clemencia F. de La Rotta - CORPOICA
02.30	03.15	Métodos inmunoquímicos de diagnóstico de enfermedades Luz Marina Mantilla C. - CORPOICA
03.15	03.30	Receso
03.30	05.00	Epidemiología cualitativa Enrique Torres - Universidad Nacional

Martes 19 de noviembre

08.00	10.00	Aplicación de la estadística en investigaciones de dinámica de plagas Ricardo Galindo - CORPOICA
10.00	10.15	Receso
10.15	12.00	Continuación
12.00	01.30	Almuerzo
01.30	03.00	Patrones de disposición espacial y su importancia en la definición de un plan de muestreo en MIP Myriam Cristina Duque - CIAT
03.00	03.15	Receso
03.15	05.00	Continuación

Miércoles 20 de noviembre

8.00	10.00	Escala de evaluación del añublo de la vaina en arroz Roberto Jurado Narváez - CORPOICA -
10.00	10.15	Receso
10.15	12.00	Biología y dinámica de la chinche de los pastos

		Nancy Barreto Triana - CORPOICA -
12.00	01.30	Almuerzo
01.30	03.00	Discusión
03.00	03.15	Receso
03.15	05.00	Modelos agroclimáticos Francisco Bošnjell - Universidad Nacional

Jueves 21 de noviembre

08.00	10.00	La ciencia de las malezas y su prospectiva Juan Manuel Arieta - CORPOICA -
10.00	10.15	Receso
10.15	12.00	Resistencia de malezas a herbicidas Norberto Hernández - AGREVO
12.00	01.30	Almuerzo
01.30	02.30	Práctica en campo Hector Muñoz -CORPOICA -
02.30	02.45	Receso
02.45	05.00	Práctica en campo Clemencia de La Rotta y Nancy Barreto CORPOICA.

Viernes 22 de noviembre

8.00	9.00	Dinámica de nemátodos fitoparásitos Rafael Navarro
9.00	10.00	Identificación y detección de las moscas de las frutas Francisco González - ICA
10.00	10.15	Receso
10.15	12.00	Modelos epidemiológicos de sigatoka negra Ricardo Galindo - CORPOICA
12.00	01.30	Dinámica de poblaciones de insectos plagas Dario Corredor - Universidad Nacional
01.30	02.30	Almuerzo
02.30	03.30	Conclusiones y recomendaciones
03.30	04.00	Clausura

TABLA DE CONTENIDO

PRESENTACIÓN.....	8
R ✓ EL ENFOQUE DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN Y SU APLICACIÓN A LA INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA.....	9
1. INTRODUCCIÓN.....	9
2. LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS Y LA TEORÍA GENERAL DE SISTEMAS.....	10
3. CONCEPTOS BÁSICOS DE SISTEMAS.....	11
3.1 <i>Que es un Sistema?</i>	11
3.2 <i>Elementos de un sistema</i>	11
3.3 <i>Estructura del sistema</i>	11
3.4 <i>Función del sistema</i>	12
4. SISTEMAS ECOLÓGICOS.....	12
5. EL ENFOQUE DE SISTEMAS EN LA INVESTIGACIÓN AGRÍCOLA.....	12
5.1 <i>Alcances del Enfoque</i>	13
6. ORIENTACIONES DEL PROGRAMA.....	15
7. LIMITACIONES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL ENFOQUE.....	17
R ✓ IMPORTANCIA DE LOS ESTUDIOS DE DINÁMICA DE PLAGAS.....	18
1. INTRODUCCIÓN.....	18
2. DETECCIÓN Y DIAGNÓSTICO.....	18
3. DINÁMICA DE PLAGAS.....	18
3.1 <i>Enfermedades y patógenos</i>	19
3.2 <i>Daños e insectos plagas</i>	19
4. ANÁLISIS DE SISTEMAS.....	20
R ✓ IMPORTANCIA DEL DIAGNOSTICO DE ENFERMEDADES.....	21
1. INTRODUCCIÓN.....	21
2. DEFINICIÓN.....	21
3. BASES PARA UN DIAGNÓSTICO SEGURO.....	21
4. APROXIMACIÓN AL DIAGNÓSTICO.....	22
5. METODOLOGÍA.....	22
5.1 <i>Observaciones</i>	22
6. TÉCNICAS DE DIAGNÓSTICO.....	25
6.1 <i>Pruebas biológicas</i>	25
6.2 <i>Pruebas inmunológicas</i>	25
6.3 <i>Hibridación de ácidos nucleicos</i>	25
6.4 <i>Reacción en cadena de polimeraza</i>	25
6.5 <i>Microscopía electrónica</i>	25
7. CONCLUSIONES.....	26
8. BIBLIOGRAFIA.....	26
MÉTODOS INMUNOQUÍMICOS DE DIAGNÓSTICO DE ENFERMEDADES.....	28
1. INTRODUCCIÓN.....	28
2. REACCION ANTIGENO - ANTICUERPO.....	28
3. REACCIONES DE PRECIPITACIÓN.....	29
4. INMUNODIFUSIÓN SIMPLE: DIFUSIÓN SENCILLA O SIMPLE.....	29
5. DOBLE INMUNODIFUSIÓN O INMUNODIFUSIÓN DOBLE.....	30

6. INMUNODIFUSIÓN RADIAL.....	30
7. INMUNOELECTROFORESIS.....	31
8. AGLUTINACIÓN POR LÁTEX.....	31
9. TÉCNICAS DE ANTICUERPOS MARCADOS.....	31
9.1. Tecnología de los ácidos nucleicos para el diagnóstico.....	32
9.2. Ensayo dot-blot.....	32
9.3. Fragmentos de restricción de longitud polimórfica.....	33
9.4. MÉTODOS DE HIBRIDIZACIÓN DE LOS ÁCIDOS NUCLEICOS.....	33
✓ FUNDAMENTOS E IMPORTANCIA DE LA EPIDEMIOLOGÍA CUALITATIVA EN EL ESTUDIO DE ENFERMEDADES DE PLANTAS.....	35
1. INTRODUCCION.....	35
2. VARIACION GENETICA EN LOS PATOGENOS.....	37
2.1 Mecanismos de selección natural.....	37
2.2. Orígenes de la variación en poblaciones de patógenos.....	39
3. IMPLICACIONES PRÁCTICAS.....	40
4. BIBLIOGRAFIA.....	40
PATRONES DE DISPOSICIÓN ESPACIAL Y SU IMPORTANCIA EN LA DEFINICIÓN DE UN PLAN DE MUESTREO EN MIP.....	43
1. JUSTIFICACIÓN.....	43
2. PRESENTACIÓN.....	43
3. INTRODUCCIÓN.....	44
4. PLANES DE MUESTREO EN MIP.....	44
5. PATRÓN DE DISPOSICIÓN ESPACIAL.....	45
5.1. Definición y Tipos de Patrones.....	45
5.2. Indicadores de un patrón de disposición espacial.....	46
6. QUE ES UN PLAN DE MUESTREO-ELEMENTOS CONSTITUTIVOS.....	52
6.1. Los elementos.....	52
6.2. Las unidades de muestreo.....	53
6.3. El tiempo.....	53
6.4. El tamaño de muestra (n).....	54
6.5. El método de muestreo.....	57
6.6. Toma de la muestra.....	58
7. MUESTREO SECUENCIAL.....	58
7.1. Clasificación de la población con respecto a valores críticos: Promedios o Proporciones.....	59
7.2. Estimación de Niveles de población.....	61
7.3. Modelo secuencial para la estimación de porcentajes.....	63
8. EL USO DE INCIDENCIA PARA LA ESTIMACIÓN DE DENSIDADES.....	63
8.1. Modelo de Wilson y Room.....	63
8.2. Modelo Probit.....	65
8.3. Modelo de Nachman Gerrard y Chiang.....	65
9. COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE MUESTREO.....	65
9.1. Coeficiente de variación.....	66
9.2. Variación relativa.....	66
9.3. Precisión relativa neta.....	66
9.4. Análisis de varianza.....	66
✓ ANALISIS DE DATOS OBTENIDOS EN EVALUACIONES PERIODICAS MEDIANTE LA TECNICA DE "AREA BAJO LA CURVA DE PROGRESO".....	70
1. RESUMEN.....	70

Kello 88

Kello 88

3. DESARROLLO DE EXPERIMENTOS	70
4. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	71
5. CONCEPTOS BÁSICOS	71

FORMA DE CONTROL: APLICACIONES DE MONOCROTÓFOS: 2CC/LT DE AGUA/SEMANA74

R ✓ **EVALUACION DE LA INCIDENCIA Y SEVERIDAD DEL AÑUBLO DE LA VAINA DEL ARROZ EN EL DEPARTAMENTO DEL TOLIMA** 75

1. INTRODUCCION.....	75
2. MATERIALES Y METODOS	75
2.1 <i>Tamaño de muestra</i>	75
2.2 <i>Comparación de escalas para evaluar severidad</i>	76
2.3 <i>Incidencia de la enfermedad en lotes no tratados y tratados con fungicidas</i>	76
3. RESULTADOS Y DISCUSION	76
3.1 <i>Tamaño de muestra</i>	76
3.2 <i>Comparación de escalas para evaluar severidad</i>	78
3.3 <i>Incidencia de la enfermedad en lotes no tratados y tratados con fungicidas</i>	79
4. CONCLUSIONES.....	81
5. BIBLIOGRAFIA.....	81

BIOLOGIA, DINAMICA Y MANEJO DE POBLACIONES DE LA CHINCHE DE LOS PASTOS COLLARIA COLUMBIENSIS EN LA SABANA DE BOGOTA..... 82

Copias Resumen

RESUMEN	82
1. INTRODUCCION.....	82
2. METODOLOGIA	83
2.1 <i>Ciclo de vida</i>	83
2.2 <i>Dinamica poblacional</i>	83
2.3 <i>Enemigos naturales</i>	83
3. RESULTADOS Y DISCUSION	84
3.1 <i>Ciclo de vida</i>	84
3.2 <i>Dinámica poblacional</i>	84
3.3 <i>Enemigos naturales</i>	89
4. RECOMENDACIONES DE MANEJO.....	90
5. CONCLUSIONES.....	90
6. BIBLIOGRAFIA.....	90

R ✓ **LA CIENCIA DE LAS MALEZAS Y SU PROSPECTIVA** 92

Kello & S

1. INTRODUCCIÓN.....	92
1. PROBLEMÁTICA.....	92
2. EL ROL DE LAS MALEZAS DENTRO DEL MANEJO INTEGRADO DE PLAGAS.....	93
2.1 <i>Coevolución de las especies</i>	93
2.2 <i>Interrelación de especies consideradas malezas con otras plagas</i>	94
3. CONSIDERACIONES DE IMPORTANCIA PARA UN NUEVO ENFOQUE DEL MANEJO INTEGRADO DE MALEZAS: PROPUESTA DE TRABAJO.....	95
4. RESISTENCIA A HERBICIDAS Y CONTROL BIOLÓGICO	97
5. BIBLIOGRAFÍA.....	99

✓ **ASPECTOS AGROMETEOROLOGICOS DEL MANEJO INTEGRADO DE PLAGAS** 102

Kello & S

1. LA METEOROLOGÍA Y “LAS PLAGAS” VEGETALES	102
2. ASPECTOS AGROMETEOROLÓGICOS DE LA DEFINICIÓN DE LOS NIVELES DE RIESGO, EN EL MANEJO INTEGRADO DE “PLAGAS”	103

3. ASPECTOS AGROMETEOROLÓGICOS INVOLUCRADOS EN LA TOMA DE DECISIONES ACERCA DEL MOMENTO DE REALIZAR LOS CONTROLES QUÍMICOS O BIOLÓGICOS	107
3.1. <i>La gota o tizón tardío de la papa, Phytophthora infestans, está considerada como la enfermedad más importante que afecta a este cultivo a nivel mundial.</i>	107
3.2. <i>En relación con el estudio del añublo de la vaina del cultivo del arroz, Rhizoctonia solani, mencionado en la sección 2.1, a continuación se ofrecen detalles acerca del modelo agrometeorológico de predicción desarrollado en Saldaña, Tolima.</i>	109
4. BIBLIOGRAFIA	112

✓ ALGUNOS ASPECTOS SOBRE DESARROLLO DE RESISTENCIA DE MALEZAS A HERBICIDAS	114
1. MECANISMOS RELACIONADOS CON LA RESISTENCIA DE MALEZAS	114
2. RESISTENCIA DE <i>E. COLONA</i> AL PROPANIL	115
3. PROCESO PROPUESTO PARA EVALUAR EN CAMPO LA RESISTENCIA DE MALEZAS A HERBICIDAS	115
4. PREMISAS PARA EL MANEJO DE RESISTENCIA DE MALEZAS	116
5. ALGUNOS ASPECTOS A CONSIDERAR DENTRO DEL PROGRAMA DE MANEJO	116
5.1. <i>Aspectos relacionados con la maleza.</i>	116
5.2. <i>Aspectos relacionados con el herbicida.</i>	116
6. RECOMENDACIONES GENERALES	117
7. BIBLIOGRAFIA	117

PRESENTACION

Reducir la dependencia de los plaguicidas y propiciar el cambio hacia la agricultura sostenible, es un proceso que implica una transformación cultural que está en función del tiempo, de la disponibilidad de alternativas y del conocimiento que se tenga de las plagas dentro de los agroecosistemas. En este último componente radica la importancia de los estudios de dinámica de plagas, que son el fundamento para pasar a un nuevo modelo que se sustenta en conocer primero el problema y su progreso a través del tiempo, como requisito para diseñar y aplicar medidas de manejo. Porque en la medida en que se profundiza en el entendimiento del comportamiento de las plagas dentro del agroecosistema, se seleccionan y priorizan las variables bióticas y abióticas que influyen y tienen mayor impacto en su desarrollo, evolución e incremento. Así, se tendrán elementos de juicio para mejorar nuestro discernimiento sobre el cultivo, las prácticas agronómicas y la relación entre las fases de crecimiento de las plantas y la susceptibilidad o resistencia al ataque. También se dispondrá de una descripción de la época de presencia de la plaga; su porcentaje de incidencia, severidad y pérdidas; y los puntos críticos a tenerse en cuenta en la definición de estrategias efectivas de control; ya sea que estas estén dirigidas a reducir la población inicial, los focos o fuentes de inóculo, o la velocidad de crecimiento de la plaga. Sin este conocimiento, no será posible reemplazar el paradigma actual de manejo de plagas. Por tal razón, es necesario iniciar la configuración de proyectos, nacionales, regionales y locales, que involucren estudios de dinámica de plagas. Para esto se requiere capacitar a los investigadores en las bases, principios y metodologías que orientan el estudio y conocimiento de la dinámica de las plagas dentro de los agroecosistemas, como fundamento para formular alternativas de manejo integrado. Antes esta necesidad, el Programa Nacional de Epidemiología Vegetal organizó el curso "INTRODUCCIÓN A LA DINÁMICA DE PLAGAS", gracias al apoyo de la Dirección Ejecutiva, de la Subdirección de Sistemas de Producción y de la Oficina de Desarrollo Humano de CORPOICA.

EL ENFOQUE DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN Y SU APLICACIÓN A LA INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA

Mandius O. Romero
Programa Nacional Agroecosistemas
CORPOICA

Carrascal

1. INTRODUCCIÓN.

El presente escrito está orientado a hacer una presentación general y resumida de la Teoría General de Sistemas y su aplicación en el estudio y análisis de los sistemas de producción agropecuarios como marco orientador de la investigación y transferencia de tecnología.

El enfoque de sistemas en países de agricultura desarrollada surgió, fundamentalmente, como una respuesta a las dificultades que la investigación analítica tradicional tenía para resolver problemas en los que aparecían muchas variables cuyas interacciones difícilmente podrían ser consideradas por aquella. En los países de América Latina, la razón de la adopción del enfoque, obedece no tanto, a la dificultad de la investigación (tradicional o disciplinaria) para resolver los problemas antes mencionados, sino porque los resultados obtenidos condujeron a un bajo impacto en la producción y productividad, pero principalmente, en los niveles de adopción

Las razones expuestas en uno y otro caso, si bien buscan finalidades comunes (desarrollo tecnológico), su nivel de aplicación es diferente. En el primer caso, el enfoque es utilizado como un mecanismo para comprender la relaciones entre los componentes del sistema sujeto a estudio o innovación, y entre este y el entorno ya sea natural o social.. En este contexto el enfoque es una forma de mirar y analizar un problema. En el segundo caso, su utilización se da como ingeniería o método, es decir como diseño operacional de soluciones para problemas reales de adaptación, validación y transferencia de tecnología.

Durante las últimas tres décadas el cambio tecnológico se dio bajo la estrategia de una investigación orientada y concebida con un enfoque disciplinario, la cual ha sido exhaustivamente documentada en su contribución y sus limitaciones desde diferentes perspectivas. De una parte, se demostró el notable aporte de dicha investigación al crecimiento de la producción global de alimentos; pero de otra, se reconocieron también sus limitaciones: bajos niveles de adopción que se tradujeron en bajo efecto sobre el bienestar de los campesinos, ineficiencia institucional, alto costo de los procesos de desarrollo tecnológico y deterioro del medio ambiente y los recursos naturales.

Lo anterior ha dado lugar a promover, cada vez con mayor fuerza, la necesidad de buscar mecanismos institucionales para incrementar la participación de los productores agropecuarios en el cambio tecnológico, buscando con ello, asimilar sus objetivos de trabajo a la solución de problemas de la agricultura y la ganadería.

Como estrategia del nuevo modelo, CORPOICA adopta el enfoque sistémico como marco orientador de la investigación y la transferencia de Tecnología Agropecuaria, bajo la premisa de que con este enfoque, la planificación de las acciones de investigación y transferencia de tecnología se lleven a cabo de manera más eficientes, mediante una metodología que permite

identificar y priorizar problemas reales, y encontrar soluciones específicas ajustadas a la dotación de recursos de los agricultores y a la función objetivo de los sistemas de producción.

2. LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS Y LA TEORÍA GENERAL DE SISTEMAS

Desde los tiempos en que los primeros hombres fabricaron instrumentos de piedras, el hombre ha dejado una importante huella en los sistemas que creó para producir artículos y servicios. A través de la historia, el hombre desarrolló admirables sistemas productivos para cultivar productos agrícolas, para construir pirámides, caminos, acueductos y demás monumentos antiguos, así como rascacielos, supercarreteras, magníficas presas, distritos de riego y monumentos modernos. Creó las formas de trabajo de los sistemas productivos, comenzando con el sistema artesanal familiar, y pasando al sistema fábrica, a la producción en masa y a los conceptos de líneas de producción, para llegar a la automatización.

Por todo lo anterior, los sistemas productivos son el invento sin paralelo del hombre; son el medio por el cual se crea la interminable lista de bienes y servicios requeridos para el buen funcionamiento de la sociedad moderna. Por lo tanto, los sistemas productivos, constituyen el mecanismo para crear bienes y servicios; en este sentido, los sistemas productivos se definen como los medios por los cuales el hombre transforma los recursos para producir artículos y servicios útiles, para entender los sistemas productivos, y dentro de ellos los sistemas de producción agropecuarios, las ciencias que los estudiaron estaban enmarcadas por un modo de pensar que colocaba el conocimiento riguroso y detallado por encima de cualquier otra consideración. En consecuencia, la ciencia moderna se desarrolló de acuerdo a las bases impuestas por Galileo y Newton, las que podían manejar relaciones simples entre fuerzas o cuerpos, presentando en consecuencia, una imagen del universo reducida a obedecer tales relaciones (reduccionismo). La ciencia newtoniana consideraba el universo físico como un mecanismo gigante que regula leyes deterministas (relaciones causa - efecto) de movimiento.

De acuerdo a Antonio Saravia, el reduccionismo implica reducir el fenómeno en estudio a sus partes constitutivas, suponerlas independientemente unas de otras, analizarlas aisladamente para explicar su comportamiento, para luego reunir las explicaciones encontradas separadamente y concluir que esa suma explica el comportamiento del fenómeno como un todo. Como consecuencia, el reduccionismo provocó la categorización de los fenómenos en clases más y más pequeñas, a la vez que cada una de ellas se asociaba a una disciplina que se hacía más especializada. Por su parte el mecanismo supone que los fenómenos pueden ser explicados en términos de relaciones mecánicas causa-efecto, aunque para eso sea necesario reducirlos a problemas de dos variables, cadenas causales lineales, una causa y un efecto, o cuando mucho unas pocas variables.

Estos enfoques fueron insuficientes para entender y explicar las complejas interacciones que se producen en los seres vivos, y entre estos y el entorno social y económico en que se desarrollan, por lo cual fue necesario desarrollar nuevas leyes, que sin contradecir las anteriores, las complementaran.

En 1947, Bertalanffy propuso la idea de una **Teoría General de Sistemas**. Esta teoría se basa en la premisa de que hay propiedades de los sistemas que no se derivan directamente de las partes o componentes, sino de la combinación única de componentes que configuran el conjunto o el todo. Además estas propiedades hacen que el sistema se integre a algo más que la simple suma de las partes. Un hombre es más que un conjunto de células, tejidos y órganos; una economía es más que un grupo de industrias; un sistema productivo es más que procesos, personas y materiales. El comportamiento y el rendimiento de cada uno es una expresión de su unidad.

Lo anterior no implica que se niegue la importancia de entender también los componentes, pero si modifica el enfoque de los mismos, porque al orientarse el sistema, se considera a los componentes en función a su razón de ser, que es el sistema. En consecuencia, los conceptos de sistemas aprovechan tanto los resultados de ver al sistema como a un todo, como los de analizar la función correcta de sus componentes.

3. CONCEPTOS BÁSICOS DE SISTEMAS.

3.1 Que es un Sistema?.

Según Betch, hay múltiples definiciones de sistemas, pero de estas toma aquella que define al sistema "como un arreglo de componentes físicos o un conjunto o colección de cosas conectadas o relacionadas de tal manera que forman o actúan como una unidad, una entidad o un todo". Dos elementos importantes se concluyen de la definición, uno, el término arreglo denota que todo sistema tiene una estructura conformada por componentes interrelacionados y dos, la palabra actúan expresa que el sistema tiene una función.

3.2. Elementos de un sistema.

En todo sistema se presentan una serie de elementos que lo definen como tal: (1) componentes (2) interacciones (3) entradas (4) salidas (5) límites.

Los componentes de un sistema son los elementos básicos (materia prima) del sistema, así por ejemplo el suelo, el clima, las plantas, las plagas, el hombre y su entorno cultural, económico y social son los componentes de un sistema de producción agropecuario.

La interacción entre componentes de un sistema es lo que proporciona las características de estructura a la unidad. Se entiende por interacción, que las características de cualquier elemento, objeto, atributo o evento, depende de los demás atributos, eventos u objetos que existen y además, que al ocurrir un cambio en cualquiera de ellos, se requiere un cierto cambio o ajuste en los demás.

Las entradas y salidas de un sistema son los flujos que entran y salen de la unidad, todos los sistemas tienen entradas y generan salidas y todos los sistemas producen resultados para otros sistemas. El proceso de recibir entradas y producir salidas, es lo que le da función a un sistema.

El trazado de los límites de un sistema, depende de la interacción entre componentes y del nivel de control sobre las entradas y salidas. Al respecto Ronstree sugiere que los límites de un sistema no sean tajantes, sino unas "bandas grises" ocupadas por factores de efectos menores sobre el sistema.

3.3. Estructura del sistema.

La estructura es la forma como se organizan los componentes del sistema para conformar una unidad coherente y diferenciable de las demás. La estructura depende del número de componentes que conforman el sistema, del tipo de componentes (características) y de las interacciones que se dan entre ellos.

Aunque el número y el tipo de componentes afecta enormemente la estructura de un sistema, el arreglo que se da entre ellos es aún más importante. El número y tipo de componentes pone ciertos límites a los tipos de interacciones que pudieron ocurrir dentro de un sistema, pero en muchos casos, los mismos componentes pueden estar relacionados con diferentes arreglos.

3.4. Función del sistema.

La función de un sistema se define en términos de procesos y está relacionada con el hecho de recibir entradas y producir salidas y puede evaluarse en términos de (1) productividad (2) eficiencia y (3) variabilidad.

La producción neta de un sistema es la cantidad de salida, restando las entradas.

La eficiencia es una medida que toma en cuenta las cantidades de entrada y salidas de un sistema, así pues la eficiencia es la salida dividida por la entrada.

La variabilidad es un concepto que toma en cuenta la probabilidad en la cantidad de salida.

Las características de la función, como productividad, eficiencia y variabilidad, son un resultado de las características de estructura de un sistema. Analizar un sistema no es otra cosa que relacionar la estructura con la función de un sistema.

4. SISTEMAS ECOLÓGICOS

En el desarrollo de la teoría de sistemas, han surgido dos orientaciones, una de ellas enfocada al estudio de sistemas de ingeniería y la otra al estudio de sistemas ecológicos. La una se preocupa de sistemas con componentes creados por el hombre y la otra de sistemas con componentes naturales.

Dentro de los sistemas ecológicos se encuentran los ecosistemas y los sistemas agrícolas. Un ecosistema es un sistema compuesto por componentes bióticos tales como plantas, animales y microorganismos y componentes físicos tales como agua, suelo y otros.

Los sistemas agrícolas son un subconjunto de los sistemas ecológicos y se incluyen dentro de estos, porque tienen por lo menos un componente vivo pero se diferencian de los ecosistemas, porque un sistema agrícola, tiene un propósito definido por el hombre.

5. EL ENFOQUE DE SISTEMAS EN LA INVESTIGACIÓN AGRÍCOLA

Según Julio Berdegú, tres conceptos esenciales deben tenerse en cuenta para considerar que el enfoque de sistemas es aplicado como metodología de investigación y desarrollo de sistemas agropecuarios.

1. Las condiciones y características del productor y de su entorno agroecológico, socioeconómico y cultural determinan de manera muy directa y significativa sus decisiones sobre el uso del suelo y de la tecnología. Visto desde otro ángulo las tecnologías son evaluadas por los usuarios por sus propios méritos y características, pero también en atención a su relación con el resto de los actores, bienes y servicios que intervienen en el proceso productivo y de comercialización.

Este punto conduce a ciertas conclusiones operacionales, de las cuales tal vez la más importante es que las soluciones tecnológicas son específicas en el tiempo, el espacio y en relación al tipo de productor y el sistema de producción. Esta formulación operacional considera cinco etapas básicas propuestas en la versión Farming Systems Research and Extension (FSRE) que son: Selección del área, caracterización y diagnóstico, confrontación, diseño y transferencia de los sistemas de producción recomendados y estudios de adopción.

2. Los problemas y oportunidades del desarrollo tecnológico, por lo general responden a relaciones multicausales, que son evaluadas por los agricultores y otros agentes, en función de objetivos también múltiples y muchas veces contradictorios entre sí. Lo anterior significa, que casi cualquier problema u oportunidad de desarrollo tecnológico mínimamente complejo, requiere ser analizado y abordado en su ingeniería con base en una aproximación interdisciplinaria y multiobjetivo.
3. La participación activa de los usuarios de la tecnología en el proceso de generación, ajuste, validación y transferencia, redundante en una mayor eficiencia, eficacia y relevancia del proceso señalado, lo cual se alcanza mediante un proceso que debe ser guiado por la demanda.

5.1. Alcances del Enfoque

En este sentido, es necesario diferenciar dos planos del enfoque: como marco conceptual y como método operacional. En el primer caso, es una herramienta de análisis que puede ser aplicada a cualquier problema de investigación y su eficiencia radica en que permite comprender las relaciones entre los componentes del sistema sujeto a estudio o a innovación, y entre éste y el entorno natural o social. En este contexto el enfoque es de gran ayuda como forma de definir y analizar un problema.

Como herramienta operacional el enfoque de sistemas presenta una metodología que se ha desarrollado progresivamente a partir de su aplicación en diversos lugares, y orientada a identificar y priorizar problemas reales y encontrar soluciones específicas, ajustadas a la dotación de recursos y función objetivo de los sistemas de producción. En este sentido, como diseño operacional de soluciones del enfoque tiene ventajas en el segmento del desarrollo tecnológico

A través de la caracterización, se tendrá conocimiento de las principales problemáticas y potencialidades de los diferentes sistemas de producción agropecuarios, logrando mayor eficiencia en el proceso de generación y transferencia de tecnología.

En CORPOICA, la caracterización está apoyada por un Sistema de Información Georeferenciado con el cual se captura, procesa y produce información espacial y de atributos, la cual es almacenada en bases de datos. Por lo tanto, para abordar eficientemente esta fase, se requiere del equipo computacional necesario y del personal capacitado para operar dichos equipos.

La caracterización se está abordando mediante el estudio y análisis de los sistemas de producción en los tres niveles jerárquicos establecidos (nacional, regional, local). Para cada uno de estos niveles existe una previa identificación de variables de análisis (bióticas, físicas y socioeconómicas) las cuales van creciendo en detalle y profundidad en la medida en que se avanza de lo nacional a lo local.

En el nivel nacional la caracterización permitió el conocimiento del Sistema Agrícola Nacional mediante la determinación de agroecosistemas y ecosistemas naturales. Este nivel ofrecerá elementos de tipo fisicobiológico y de infraestructura que permitan disponer de conocimiento general acerca de los usos mayores de la tierra, de las condiciones agroecológicas, de la tipología general de productores, determinación de tendencias y comportamiento productivo y tecnológico de los agroecosistemas.

En el nivel regional la caracterización ofrecerá los elementos fisicobiológicos que sirvieron de base para seleccionar áreas y profundizará en aspectos socioeconómicos que suministren una clara división de la estructura de la producción agropecuaria, a partir de elementos que identifiquen economía comercial y no comercial y tenencia y distribución de la tierra.

La caracterización del nivel local conserva las variables biofísicas analizadas en los niveles anteriores y profundiza en variables socioeconómicas. Por lo tanto, este nivel se basará en información de fuentes secundarias a escala municipal (estadística, tecnológica y productiva) y de información de fuente primaria tomada directamente de los productores (uso de tecnología, flujos de insumos y productos del sistema, costos de producción e ingresos).

5.2.3 Fase de confrontación.

El objetivo fundamental de la fase de confrontación en la operacionalización del enfoque de sistemas, aplicado a la investigación y transferencia de tecnología, es presentar, analizar y realimentar la información obtenida durante los procesos de selección del área y de caracterización, de tal forma que permita definir de manera conectada las actividades de experimentación y transferencia de tecnología en los sistemas de producción priorizados.

Para abordar la fase de confrontación se requiere de la información generada en los procesos de selección de áreas y caracterización de los sistemas de producción, de la discusión de problemáticas y oportunidades tecnológicas, de la participación institucional, interdisciplinaria y del productor y de la concertación de planes y proyectos en las diferentes instancias, nacional, regional y local. Lo anterior permite un espacio de reflexión que asegura la eficacia y el control social de la actividad institucional.

Los resultados de esta etapa se refieren básicamente a definir en forma concertada planes, programas y proyectos de investigación y transferencia de tecnología en sistemas de producción, facilitando la asignación de recursos y definición de competencias para la identificación y desarrollo de alternativas de solución a problemas y oportunidades concretos.

Dentro de estos resultados CORPOICA ha realizado diferentes eventos de confrontación a través de proyectos como el de caracterización de los sistemas de producción del Pacífico con participación a todo nivel de los actores regionales y locales y planes como el de modernización de la ganadería bovina del país.

5.2.4. Diseño, experimentación y transferencia de los sistemas de producción recomendados.

Posterior a la caracterización y confrontación de los resultados de ésta, se centra en la fase de diseñar, evaluar y transferir las recomendaciones tecnológicas propuestas.

En el diseño se debe especificar cuáles de las recomendaciones tecnológicas se evaluarán a nivel de centro experimental y cuáles a nivel de finca y cuáles son factibles de transferir.

Con el diseño de las alternativas tecnológicas se busca, mediante algún método de evaluación ex ante, evaluar el impacto potencial de las recomendaciones antes de ponerlas a prueba en el campo. Con esta evaluación previa, se reducen los costos de la experimentación y el tiempo que se invertiría en ella, ya que se obtiene una respuesta rápida de la interacción de diversos factores y se identifican aquellas acciones de desarrollo tecnológico de mayor impacto potencial. De las recomendaciones que hayan tenido este mayor impacto se priorizan las que deben ser validadas a nivel de campo mediante la experimentación.

En la fase de experimentación es donde la investigación a nivel de sistemas locales adquiere la mayor importancia, ya que los ensayos son diseñados para ayudar a detectar diferencias bajo las prácticas de manejo y condiciones ambientales típicas de los productores.

La transferencia de tecnología, dentro del esquema de CORPOICA, no está concebida como aquel mecanismo pasivo de entrega de los resultados de la experimentación, sino es aquel proceso que se articula a la investigación con el fin de identificar mecanismos para aumentar la adopción de tecnologías. Por lo tanto, la transferencia de los resultados está íntimamente ligada a la generación y al mismo tiempo, sirve como mecanismo para realimentarla.

5.2.5. Estudios de adopción de tecnología.

Esta fase metodológica es de gran importancia en la aplicación del enfoque de sistemas de producción en la investigación. Con estos estudios se busca, identificar y cuantificar el efecto de las variables biofísicas y socioeconómicas determinantes en las decisiones de uso y adopción de tecnología por parte de los productores.

Su oportunidad de realización está en función de la dinámica en la conformación de los sistemas de producción, en la variabilidad de los limitantes del sistema, de las modificaciones en aspectos de política productiva y de expectativas de cambios en la toma de decisiones de los interesados actuales y potenciales de la recomendación.

Su ejecución no puede ser mirada como la etapa final del enfoque, por el contrario, de acuerdo con sus resultados es factible que sea necesario retornar a fases anteriores para desarrollar, evaluar y confrontar posibles modificaciones en la recomendación inicial. Así mismo, si las recomendaciones han sido aceptadas por los interesados, se determine su factibilidad de extrapolación a condiciones similares, y las posibles variaciones en las razones que explican el comportamiento de los agricultores.

Finalmente, se realimenta el proceso y se reinicia con la selección del área de interés para la investigación y transferencia.

6. ORIENTACIONES DEL PROGRAMA

En una primera fase, el Programa ha orientado sus acciones al desarrollo de procesos computacionales que optimicen el almacenamiento, análisis y modelamiento de datos provenientes de la puesta en ejecución de las fases metodológicas de la investigación en sistemas de producción, a fin de proveer de instrumentos que apoyen la toma de decisiones en los procesos de investigación y transferencia de tecnología agropecuaria.

Las principales orientaciones hacen referencia a :

1. Representación espacial de los sistemas de producción. Es la primera actividad que se realiza en la investigación en sistemas de producción. En la actualidad, con la tecnología SIG y con base en la información producida por el IGAC, Secretarías de Agricultura, Corporaciones Regionales, DANE y otras instituciones es posible construir el inventario cartográfico de los Sistemas de Producción a dos niveles de abstracción y, darle valor agregado a una información que como componentes individuales no tiene la funcionalidad que ella presenta cuando se integra alrededor de un sistema de producción. Esta información es de gran importancia para investigadores y planificadores de la investigación, pero también lo es para los organismos encargados de la planificación del uso de la tierra. y el ordenamiento territorial

Esta actividad se realiza a nivel nacional y regional y corresponde a la implementación del sistema de información georeferenciado. Los productos son bases de datos con información de las características físico-químicas y morfológicas de los suelos, datos climáticos, descripciones del uso del suelo que incluyen datos de productos cultivados, rotaciones en el espacio y en el tiempo y, sobre tipología de producción, minifundio, colonización, indígena y comercial. Esta

información esta conectada a mapas digitales de cada uno de dichos componentes. De igual manera, y como producto del cruce de la información anterior, se definen los sistemas de producción a nivel nacional, Escala 1 : 500.000 y regional, 1 : 100.000.

Esta información organizada en un sistema de bases de datos permitió análisis integrantes (enfoque sistémico) facilitando la definición de problemáticas y potencialidades de los sistemas de producción y alrededor de ellas, conformar grupos multidisciplinarios en concordancia a la problemática identificada.

El Programa Nacional está realizando el inventario de los Sistemas de Producción a nivel del país, con información de carácter general. El nivel regional, implementará el SIG de manera gradual, pues no sería procedente identificar todos los sistemas de producción de cada regional dado el gran volumen de información cartográfica y el tiempo que ésto implicaría. Por ello, se comenzará con la identificación y caracterización de los Sistemas de Producción priorizados en cada regional, a fin de que gradualmente se vaya construyendo el inventario de los sistemas de producción del nivel regional.

2. Clasificación de los sistemas de producción a nivel nacional, regional y local con base en criterios y parámetros que permitan la correlación y extrapolación de resultados de investigación.

La regionalización y subregionalización de CORPOICA da lugar a que algunas Regionales y CRECEDs, compartan ambientes ecológicos semejantes, en los que se desarrollan similares sistemas de producción con potencialidades y limitantes comunes. El 60 % de las regionales comparten la Región Andina, hay dos Regionales en la Región Caribe y las Regionales 8 y 10, si bien presentan dos ecosistemas diferentes (Sabanas y Bosques), tienen una gran zona en común como es la Subregión del Piedemonte.

Este hecho, dio lugar a que se estableciera una clasificación que permitiera identificar homogéneamente los Sistemas de Producción y que facilitara su correlación. Para estructurar esta clasificación o Taxonomía de Sistemas de Producción, se utilizaron criterios y parámetros que facilitarían la extrapolación de resultados de investigación. Para ello, se incluyeron como variables diferenciadoras para la conformación de clases en cada nivel jerárquico, aquellos criterios que de manera relevante producen cambios en el sistema, como la altitud y la provincia de humedad, o cambios significativos en la producción, en el manejo o en la conservación como son la pendiente, la erosión, el drenaje, las rotaciones multitemporales de cultivos y las tipologías de producción. *TIPO DE VEGETACIÓN, MANEJO Y CULTIVOS*

Establecer un sistema de clasificación homogéneo, multicategorico (nacional, regional y local) e implementado con un sistema de información geográfico, es condición necesaria para correlacionar sistemas de producción entre diferentes regionales y CRECEDs y para definir blancos de investigación que permitan la extrapolación de los resultados de investigación.

3. Determinar las condiciones y características del productor y de su entorno socioeconómico y cultural, a fin de conocer de manera directa y significativa sus decisiones sobre el uso del suelo y de la tecnología. La operacionalización de esta actividad incluye la caracterización y diagnóstico del sistema de producción a nivel local, diseño de posibles soluciones, investigación en fincas, validación y transferencia de resultados.

7. LIMITACIONES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL ENFOQUE

Varios elementos han intervenido para que la investigación en sistemas de producción no presente un mayor grado de apropiación en los proyectos de investigación que se realizan en la Corporación en sus tres niveles de acción.

El primero de ellos hace referencia a que se ha considerado que la responsabilidad del enfoque corresponde al Programa de Agroecosistemas y a los grupos Regionales de Sistemas de Producción. Este hecho, ha dado lugar a que los demás Programas no asuman con verdadera fuerza el compromiso del enfoque y que se descontextualice la utilidad y los alcances que el presenta. No tiene presentación alguna, que en unos programas se maneje la metodología y técnicas del enfoque y en otros, la investigación agropecuaria.

Lo anterior se ve acentuado por el bajo nivel de comunicación que se presenta entre los diferentes programas, los cuales, construyen sus proyectos de manera aislada, siguiendo en cierta forma la independencia de los disciplinario y la inercia de pasadas estructuras poco abiertas a la construcción participativa y proactiva, olvidando que una premisa fundamental del enfoque, es aceptar que nuestro conocimiento tiene un límite a partir del cual, hay otros conocimientos indispensables para la solución del problema.

Operativamente los programas regionales de Sistemas de Producción deben estar articulados a los otros programas mediante proyectos conjuntos tendientes a solucionar problemáticas comunes. Los requerimientos de aplicar las etapas metodológicas de investigación en sistemas de producción, se originan en los proyectos de los otros programas como parte de su metodología, y no al interior de los grupos regionales de sistemas de producción.

En éste sentido, las direcciones regionales deben orientar acciones para que los grupos agrícolas y pecuarios abran espacios para que en ellos participen los programas de sistemas y de transferencia, los cuales apoyarán metodológica y operacionalmente todas las fases o etapas requeridas en la investigación en sistemas de producción desde la identificación y caracterización del sistema, hasta la validación y transferencia de resultados.

IMPORTANCIA DE LOS ESTUDIOS DE DINÁMICA DE PLAGAS

Edgar Martínez Granja
Programa Epidemiología Vegetal
CORPOICA

1. INTRODUCCIÓN

La producción agrícola contemporánea tiene sus bases en el monocultivo y en la utilización de insumos químicos. Reducir la dependencia de estos y propiciar el cambio hacia la agricultura sostenible, es un proceso de transformación cultural que será más ágil, en la medida en que se desarrollen y adopten nuevas alternativas tecnológicas.

El crecimiento tecnológico dirigido a la disminución del empleo de plaguicidas y a la estructuración de estrategias de manejo integrado de plagas, debe sustentarse en el conocimiento de los agroecosistemas y de las plagas dentro de estos.

Este conocimiento será más amplio y relevante, cuando se entiendan y cuantifiquen los atributos biológicos, la fluctuación poblacional en el tiempo y en el espacio y las pérdidas causadas por insectos, enfermedades y malezas. En este contexto, los estudios de dinámica de plagas generan la información relacionada con los cambios cualitativos y cuantitativos que sufren estas a través del tiempo. Para ello se parte del análisis del agroecosistema y de la identificación y diagnóstico de los problemas en estudio; posteriormente, se avanza en la determinación de los factores que influyen en su fluctuación, con el fin de proponer alternativas de manejo.

2. DETECCIÓN Y DIAGNÓSTICO

Los estudios de dinámica de plagas se inician con actividades de detección y diagnóstico. Detección, es la acción de descubrir la presencia de una plaga. Diagnóstico, es un proceso para determinar el origen de un problema. Es decir, el seguimiento de procedimientos y metodologías que conduzcan a obtener un agudo conocimiento de la relación causa-efecto.

De la precisión, oportunidad y pertinencia en la identificación y caracterización de las plagas, depende el éxito de la alternativa de manejo a emplear. Un diagnóstico errado conduce a un manejo inadecuado; por consiguiente, es un factor que origina el uso innecesario de plaguicidas.

El diagnóstico es una herramienta de apoyo a las actividades de monitoreo de campo, que ayuda a establecer e identificar la existencia o incidencia de una plaga. No obstante, no representa la situación real de la población dentro del sistema de producción. Por tanto, no debe usarse como único elemento para la formulación de prácticas de control.

Dada la importancia del diagnóstico para el manejo de plagas, se programó una conferencia sobre el tema, la cual está dentro de las memorias del curso.

3. DINÁMICA DE PLAGAS

Las investigaciones en dinámica de plagas proporcionan las bases teóricas y prácticas básicas para la formulación de alternativas de manejo integrado. Visualizan las plagas como componentes o subsistemas del agroecosistema, con lo cual se minimiza el concepto individual y se adopta la noción poblacional del sistema productivo.

En este contexto se identifican las variables que constituyen un factor determinante para la fluctuación de la población de plagas. Así por ejemplo, se establece el efecto de los enemigos naturales, del clima, de las variedades de cultivos y de las prácticas agronómicas de producción, sobre la densidad de población de los agentes nocivos; y de ésta, respecto a los niveles de daño y pérdida causados en las plantaciones.

Estas variables se seleccionan y priorizan de acuerdo a su nivel de influencia en el subsistema, tomando aquellas que tienen mayor impacto en el progreso, evolución e incremento poblacional de las plagas. Así, se tendrá una aproximación al entendimiento fundamental de la interacción de la plaga con el hospedero y con el medio en el cual se desarrollan.

Como resultado del análisis descriptivo y cuantitativo de las observaciones, se deducirán los niveles críticos y los modelos que permitan la formulación de estrategias efectivas de control; las cuales, entrarían a formar parte integral del sistema productivo.

3.1. Enfermedades y patógenos

A partir del conocimiento del agente causal de la enfermedad, es importante diseñar investigaciones para conocer la biología del patógeno, con el fin de identificar y caracterizar las estructuras comprendidas en el ciclo de vida y en las fases de infección, reproducción y sobrevivencia, las cuales forman parte de su dinámica; que a su vez, es el resultado de los cambios que se producen como consecuencia de la interacción del hospedero, el patógeno y el medio.

Estos cambios se describen gráficamente, a través del tiempo, mediante la curva de progreso de la enfermedad. Y se cuantifican para determinar las variables que tienen influencia en la velocidad de desarrollo de la epidemia; en la duración de los procesos y subprocesos de infección, esporulación e infección; y en la incidencia y severidad. Esta última integra los siguientes componentes que expresan la respuesta del hospedero a la infección: frecuencia de infección, período latente, cantidad de esporulación y período infeccioso.

Para patógenos monocíclicos, la cantidad de enfermedad al final del período vegetativo, es proporcional al total de inóculo inicial. En tanto que, para patógenos policíclicos, está dada además, por su tasa de crecimiento. De ahí que para reducir pérdidas causadas por enfermedades se pueden diseñar y ajustar modelos de manejo sustentados en tres estrategias: reducir el inóculo inicial o atrasar su presencia; disminuir la tasa de incremento de la enfermedad; y acortar el tiempo de exposición del cultivo al patógeno.

En este orden, la cuantificación de la dinámica de las enfermedades ayuda a determinar y a evaluar estrategias adecuadas de manejo. Se utiliza en la comparación del progreso de la epidemia en diferentes agroecosistemas. También, para establecer el efecto sobre la producción; y en el desarrollo de modelos de predicción y simulación.

3.2. Daños e insectos plagas

A través del conocimiento del ciclo de vida se identifican los estados biológicos que lo conforman, se determinan sus características específicas y la relación con el daño que causan. De esta manera se tendrá claridad sobre la interacción: daño-pérdidas-estado biológico (adulto, larva, ninfa).

Al cuantificar estos estados y el total del ciclo de vida, se podrá correlacionar el tiempo de duración, con la tasa de reproducción y con el número de generaciones probables durante las diferentes fases del período vegetativo de un cultivo. Con base en estos estudios fundamentales,

se inician trabajos de campo para conocer la distribución, densidad y fluctuación de la plaga a través del tiempo y del espacio.

Las experimentaciones de campo se diseñan para tomar información sistemática acerca del tamaño de la población de adultos e inmaduros del insecto, con el fin de elaborar bases de datos, análisis y gráficas que describan su fluctuación en condiciones comerciales de cultivo. De aquí se pueden formular hipótesis acerca de la selección de los factores que influyen en el aumento, disminución y estabilización de la intensidad poblacional de la plaga, y definir modelos para el manejo de la misma. Es a partir de la cuantificación de las plagas y del daño que causan, que se puede inferir la toma de decisiones respecto al empleo de cualquier tipo de control.

4. ANÁLISIS DE SISTEMAS

La estructura de los agroecosistemas es compleja, porque a las características inherentes a cada uno de los elementos que los conforman, se adicionan las interacciones entre ellos y sus funciones.

Para estudiarlos y comprender su complejidad, se requiere de un procedimiento que ayude a seleccionar los componentes que tienen mayor influencia en el progreso de las plagas dentro del sistema agrícola.

El enfoque de análisis de sistemas es una estrategia que ayuda a cumplir con el objetivo general de conocer las plagas, con el fin último de tomar decisiones y definir un plan respecto a su manejo. Es una guía importante, porque desagrega el sistema en sus componentes y los trata individualmente, introduciendo en el tiempo, las variables que se destacan durante el ciclo vegetativo por su influencia biológica, abiótica o práctica.

Dentro de esta estrategia, los estudios de dinámica de plagas comprenden las siguientes fases:

1. Se identifica el problema que se pretende solucionar, utilizando en un comienzo la mínima complejidad; la misma que va aumentando en la medida en que se necesite para la definición puntual y específica del objetivo.
2. Se diseña en detalle el sistema objeto de estudio, con base en la descripción de los componentes estructurales y de aquellos factores que, a juicio del investigador, tengan mayor influencia para alcanzar los objetivos con base en criterios temporales y espaciales.
3. Se formula un modelo que describa las interacciones de sus componentes con su entorno. En esta etapa se valoran las alternativas de los programas de manejo y se llevan a evaluación para finalizar con la descripción del problema y para determinar si se han identificado realmente los eventos prioritarios.
4. Se verifica si el modelo representa razonablemente el sistema bajo estudio y se lleva a validación estadística para comparar y ajustar las observaciones.
5. Finalmente se construye el sistema de manejo, con combinaciones de controles identificados en la descripción del sistema y en la fases de desarrollo del modelo. Es el punto final para la toma de decisiones.

IMPORTANCIA DEL DIAGNOSTICO DE ENFERMEDADES

Forero de

Ma. Clemencia La-Roffa
Epidemiología Vegetal
Corpoica

1. INTRODUCCIÓN.

Las enfermedades de las plantas son indudablemente uno de los principales factores que limitan la productividad de la especies vegetales cultivadas. Este problema se agudiza en los países ubicados en las zonas tropicales, donde las condiciones de clima son muy variadas y favorables para el desarrollo de enfermedades, las plantas se cultivan en forma continua y la presencia de los agentes causales es permanente. Especies de exportación como las flores y frutas exóticas, están expuestas a los daños y pérdidas que las enfermedades ocasionan. Para lograr su manejo adecuado y limitar su efecto sobre la producción vegetal, los agentes que ocasionan las diferentes enfermedades deben ser diagnosticados o identificados correctamente.

2. DEFINICIÓN

El diagnóstico de enfermedades es conocido como la actividad encaminada a identificar las enfermedades sus daños y agentes causales. Algunos especialistas en esta área la consideran como un "arte" o la habilidad para encontrar la causa de la enfermedad y poder reconocerla; tiene un solo fin, apoyar el manejo de los problemas de orden fitosanitario; Mc. Intire y Sands (1978), indican " sin un diagnóstico correcto las enfermedades no pueden ser manejadas". Existen en la literatura mundial, numerosos casos en los cuales no se logrado un control efectivo de una enfermedad por un diagnóstico incorrecto. Adicionalmente a un manejo inadecuado, se presenta un aumento en los costos de producción y contaminación del medio ambiente.

En países con una agricultura desarrollada existe disponibilidad de laboratorios o centros de diagnóstico, ofrecido por entidades del estado, universidades y laboratorios privados, que están al alcance de los productores y asistentes técnicos, lo cuál ha contribuido a mejorar las formas de manejo de enfermedades. Igualmente, en la mayoría de los centros de investigación fitopatológica, mantienen un servicio de diagnóstico de enfermedades en contacto con los de asistencia técnica. En estos laboratorios la mayoría de la problemas son diagnosticados por exámenes microscópicos y macroscópicos y los problemas de diagnóstico difícil son remitidos a especialistas en la enfermedad objeto del estudio.

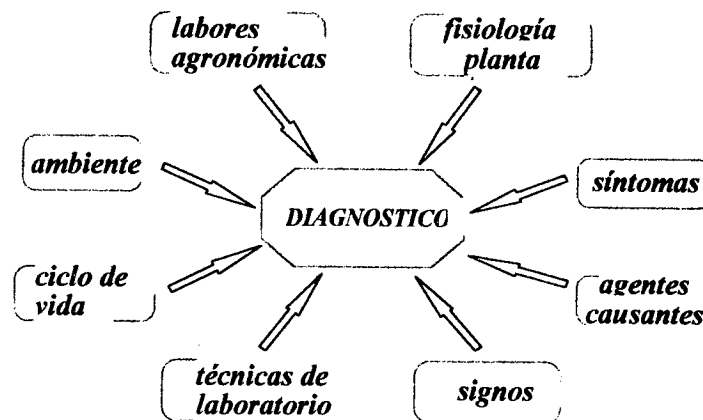
3. BASES PARA UN DIAGNÓSTICO SEGURO

El diagnóstico más confiable debe ser realizado en laboratorios, por profesionales especializados en esta área, con un profundo conocimiento científico de las enfermedades y sus agentes causales, empleando técnicas y equipos convencionales, pero contando con una marcada disposición o habilidad para llevar a cabo esta actividad. En el caso de enfermedades muy frecuentes puede ser realizado en el campo por profesionales que conozcan además del cultivo y sus practicas agronómicas, también las enfermedades que lo afectan. Estas bases facilitan, asociar los patrones de síntomas de enfermedades parasitarias con los atribuidos a prácticas agronómicas deficientes.

Conocer algunos aspectos sobre el ciclo de vida de los microorganismos y de la enfermedad como, tipo de inóculo, penetración, colonización, formas de transmisión, diseminación, y sobrevivencia y las condiciones del medio ambiente que favorecen su desarrollo, ayudan a identificar no solamente las causas de las enfermedades, si no que también contribuyen a formular su manejo en forma racional.

Junto con los aspectos mencionados anteriormente, el la siguiente figura se presentan otros, que también forman parte de la serie de conocimientos de apoyo, que se deben tener para diagnosticar en forma segura una enfermedad.

Figura 1. Conocimientos que apoyan el diagnóstico de enfermedades.



4. APROXIMACIÓN AL DIAGNÓSTICO

Se logra, cuando se realiza una descripción detallada de los síntomas de la enfermedad y se observan los signos del patógeno que la está ocasionando. En muchos casos el diagnóstico seguro requiere el aislamiento e identificación del patógeno y en otros, para demostrar que el organismo aislado es la causa de la enfermedad, la aplicación de los postulados de Koch. Con experiencia un diagnóstico puede ser realizado con una simple observación.

5. METODOLOGÍA

De acuerdo con lo propuesto por Fry (1982) el proceso se basa en métodos científicos que incluyen, la observación del problema, la formulación de una hipótesis que explique la observación, las pruebas de esa hipótesis, y finalmente su rechazo u observación.

5.1 Observaciones

En primer lugar una observación detallada se logra cuando se adquiere experiencia, pero contribuyen a orientarla algunos aspectos como:

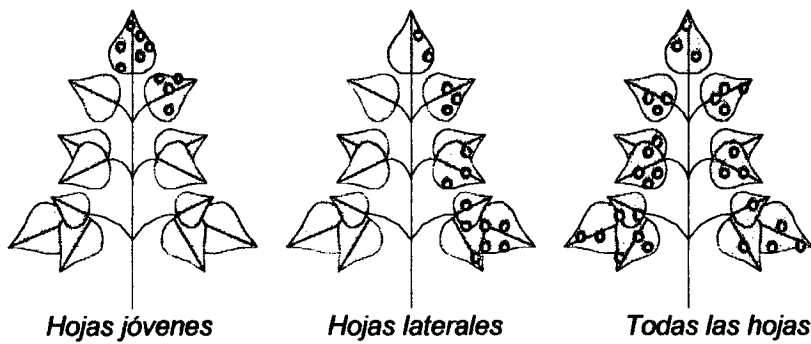
- Observar como se encuentran localizados los síntomas dentro de la planta;
- En el caso de hongos, bacterias y nemátodos, localizar sobre los tejidos lesionados signos o estructuras reproductivas del microorganismo.
- Conocer, como se distribuye la enfermedad en el campo: plantas aisladas, focos, parches, etc.

- Información sobre el tiempo (días, meses) de inicio de la enfermedad y las condiciones atmosféricas prevalentes antes de su aparición.
- Conocer las principales prácticas agronómicas aplicadas antes de la aparición de los primeros síntomas (análisis y preparación del suelo, fertilización, tipo de semilla, procedencia, variedades, forma de riego, uso de plaguicidas, etc). Estos puntos, ayudan a tener un panorama general del cultivo y los factores que pueden haber contribuido a la aparición de la enfermedad.

5.1.1. Síntomas

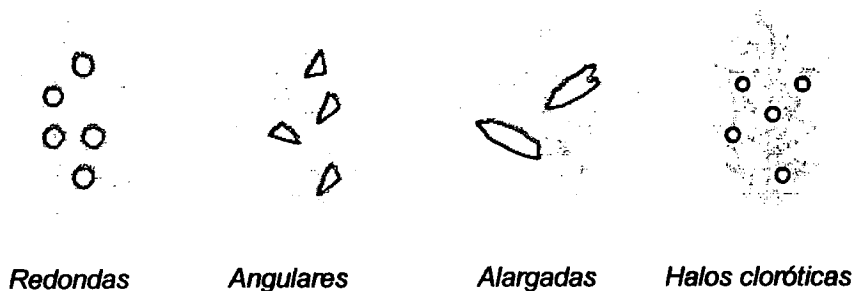
En los tejidos aéreos de la planta es necesario observar si están localizados en el tercio inferior, medio o superior de todas las hojas, si son algunas o una solamente (Figura 2).

Figura 2. Localización de algunos de los síntomas de enfermedad en el sistema foliar de las plantas.



Cuando se presenten lesiones o manchas en las hojas, observar además de su localización la forma (Figura 3) y distribución en el tejido analizado.

Figura 3. Algunas formas de manchas foliares.



Cuando se hace la observación de los síntomas de una enfermedad es necesario considerar, que en muchos casos, ciertos daños en los tejidos aéreos, como amarillamientos, marchitamientos o muertes descendentes, son atribuidos a microorganismos localizados en las hojas, tallos o ramas, sin embargo estos se producen como consecuencia de la acción de hongos, bacterias y nemátodos o de daños de origen abiótico, en los puntos de toma y translocación de nutrientes y agua (sistema radical y vasos conductores). Con una buena observación y análisis, estos síntomas foliares pueden indicar la localización del agente causal y sugerir su posible manejo.

Para aquellos microorganismos que se localizan en el sistema vascular, los síntomas generalmente se inician hacia un lado de los tejidos aéreos y luego en forma generalizada en la planta.

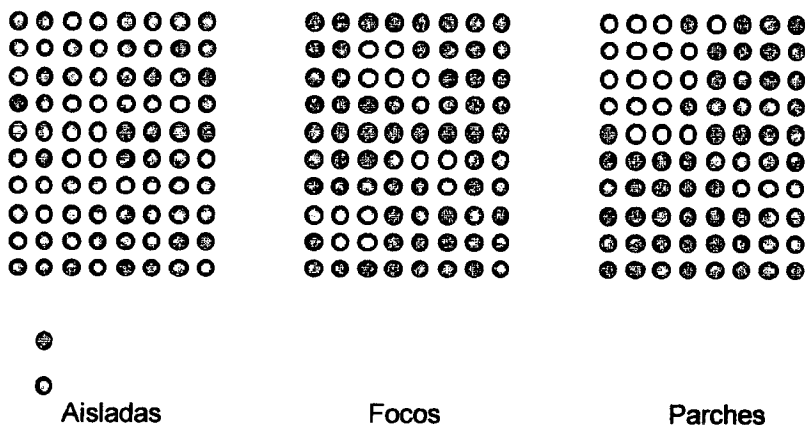
5.1.2. Signos

Cuando las estructuras vegetativas o reproductivas de un microorganismo se encuentran sobre los tejidos afectados, el diagnóstico de una enfermedad es fácil y rápido. El patólogo por lo tanto debe estar familiarizado no solamente con la clasificación de los diferentes agentes de enfermedad sino también con el tipo de estructuras que los microorganismos forman y que son la base de su clasificación.

5.1.3. Distribución dentro de los cultivos

Con mucha frecuencia es la clave del diagnóstico. En este caso la enfermedad puede estar limitada a plantas individuales distribuidas irregularmente dentro del cultivo, a pequeños grupos de plantas o en forma de parches o focos de gran tamaño; iniciarse en los bordes de los cultivos, en los sitios de mayor humedad, afectar solamente una variedad, etc. Esta localización va a depender del tipo de microorganismo o factor abiótico que esté relacionado con la enfermedad.

Figura 4. Ejemplo de distribución de plantas enfermas, en un lote cultivado.



Finalmente, el fitopatólogo al reunir la mayor información, evalúa para decidir cuál o cuáles factores es o son la causa más probable de una enfermedad. En algunos casos la información no es suficiente para hacer un diagnóstico positivo y se tiene que sugerir la "mejor posibilidad" basado en las evidencias disponibles. Además de estos aspectos es necesario tener algunas precauciones cuando se tiene un resultado:

- No descartar la posibilidad de encontrar más de un microorganismo actuando en el proceso y desarrollo de la enfermedad.
- Tener en cuenta la acción de contaminantes sobre los tejidos lesionados.
- Considerar posible que varios daños de origen no parasitario o abióticos pueden ser confundidos por enfermedades de naturaleza parasitaria.
- Considerar de gran importancia el conocimiento de las principales prácticas agronómicas realizadas en el cultivo.

6. TÉCNICAS DE DIAGNÓSTICO

Con los recientes avances en biología molecular se han propuesto y desarrollado nuevos métodos de diagnóstico, como una herramienta más para la identificación de los diferentes agentes causales de enfermedad. Estos, han resultado más rápidos, específicos y sensibles que los procedimientos convencionales, pero dada su especificidad no pueden ser adaptados o modificados para el diagnóstico de todas las enfermedades; en el trópico, la diversidad de ellas y sus agentes causales, puede demorar la aplicación de algunas de ellas.

En algunos casos, para un diagnóstico positivo es necesario aplicar más de una de las técnicas conocidas.

6.1. Pruebas biológicas

Además de las técnicas moleculares se tienen los procedimientos corrientes que permiten, para la identificación de hongos y bacterias observar al microscopio sus estructuras, en los tejidos afectados o creciendo en medios artificiales. En el diagnóstico de enfermedades ocasionadas por nemátodos, se usan métodos basados en su aislamiento e identificación por clasificación taxonómica y características morfológicas. Para las de enfermedades de origen viral el uso de técnicas como la transmisión por vectores y plantas indicadoras, rango de hospederos, determinación de sus propiedades físicas (PIT, LIV, PFD) y con mucha frecuencia los síntomas, contribuyen a su identificación.

6.2. Pruebas inmunológicas

Dentro de las más importantes y de mayor aplicación se mencionan las técnicas de ELISA, ISEM, difusión en agar, aglutinación de cloroplastos, microprecipitación, las primeras usadas con mayor frecuencia para la detección de diferentes clases de virus. En los hongos, por su naturaleza más compleja, no son aplicados comúnmente, en este caso el uso de anticuerpos monoclonales puede dar buenos resultados y podrían ser detectados en forma rápida, después de iniciado el proceso de infección, pero antes de la aparición de los primeros síntomas (Baker, 1991).

6.3. Hibridación de ácidos nucleicos

Esta técnica, depende del alto grado de especificidad entre el apareamiento de nucleótidos y de la secuencia de bases nitrogenadas, es una buena herramienta en biología molecular; se aplica en la actualidad para la detección de agentes infecciosos como virus, micoplasmas y bacterias, pero se usa con más frecuencia para la detección de viroides que ocasionan enfermedades como el enanismo de crisantemo, el tubérculo ahusado de la papa y exocortis en los cítricos.

6.4. Reacción en cadena de polimeraza

Conocida también como PCR, se basa en la amplificación de genes del agente causal, mediante la acción de una enzima, y es usada en la actualidad en el diagnóstico de virus, hongos, bacterias y nemátodos entre otros. A pesar de que estas técnicas requieren equipos especiales, su uso es frecuente en el diagnóstico de enfermedades transmitidas a través del material de propagación y cuando se desean conocer infecciones por microorganismo previamente caracterizados.

6.5. Microscopía electrónica

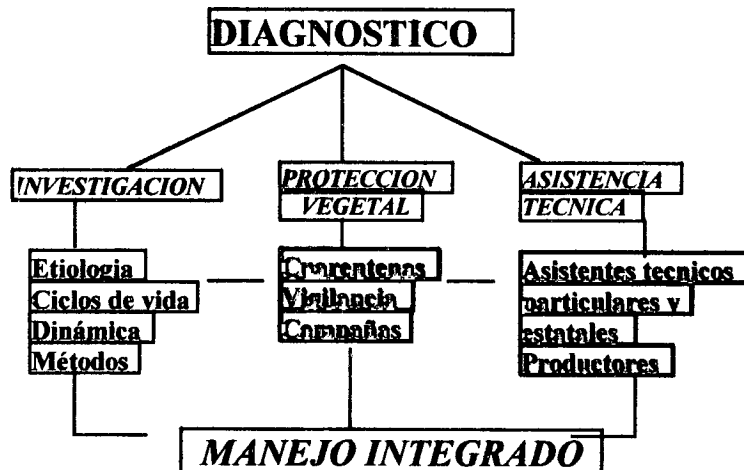
En el diagnóstico de enfermedades esta herramienta se usa principalmente para el estudio de enfermedades de origen viral. Existen métodos muy rápidos como el denominado "leaf dip", en este caso una gota muy pequeña del tejido vegetal enfermo se coloca sobre una rejilla previamente preparada y se observa directamente en el microscopio, con el fin de detectar partículas virales. En el método conocido como ISEM, la serología se combina con el uso del microscopio electrónico.

Algunos de estos métodos se aplican para el diagnóstico de enfermedades de aparición frecuente en los cultivos, en los reconocimientos e inventarios de enfermedades con fines de investigación y protección vegetal y en la detección de microorganismos que se introducen a diferentes zonas de cultivo. Además estas técnicas, existen las basadas en los sensores remotos que a pesar de aplicarse en otros países, en Colombia se han usado recientemente en la detección de la enfermedad conocida como la "podrición del cogollo". El sistema se basa en la capacidad que tienen los organismos vivos de emitir energía, esta es captada a través de películas sensibles a esta radiación mediante fotografías aéreas.

7. CONCLUSIONES

Es necesario reconocer que todo aquello que en el campo fitopatológico contribuya a aclarar los conocimientos sobre la etiología y el comportamiento de los patógenos, los cambios en la fisiología de las plantas expresadas en los síntomas, el estudio de los procesos patológicos en las plantas afectadas, la influencia de los factores del medio ambiente sobre la planta y el agente causal, sus formas de diseminación y sobrevivencia, entre otros, contribuye a manejar en forma integral las enfermedades en cualquier sistema de producción. En el gráfico siguiente se presenta un esquema que integra algunos de los principales campos en los que el diagnóstico de enfermedades es aplicado para lograr una sanidad vegetal en todas las áreas de cultivo.

Figura 5. Esquema que integra el diagnóstico de enfermedades con diferentes actividades, para llegar a un manejo integral en la sanidad en los cultivos.



8. BIBLIOGRAFIA

1. ACIKGOZ, S. 1993. Detection of Mycoplasma-like Organisms in Infected Potato by Electron Microscopy. J. Phytopathology. 138:171-174.
2. BRATHWAITE, C. W. D. 1985. An introduction to the diagnosis of plant disease. IICA. Costa Rica. 39p
3. ELLIS, M.A. AND S.A.MILLER. 1993. Using a *Phytophthora*-specific Immunoassay Kit to Diagnose Raspberry Phytophthora Root Rot. Hort Science 28(6):642-644.
4. FRY, W. E. 1982. Principles of Plant Disease Management. New York: Academic Press, 378p.
5. GREEN, S. K. 1991. Guidelines for diagnostic work in plant virology. Technical bulletin 15 . Asian Vegetable Research and Development Center. 63p.
6. HAGLUND, W. A. AND M. L. JARMIN. 1978. Aerial photography for detection and identification of Fusarium Wilt of peas. Plant Disease Reporter. 62(7):570-572.
7. JACKSON, R. D. 1986. Remote sensing of biotic and abiotic plant stress. Ann. Rev. Phytopathol. 24:265-287.
8. KHOBZI, J., J. LEÓN-PÉREZ, P. L. GÓMEZ Y G. ALVAREZ-AYALA. 1992. Análisis del estado fitosanitario de una plantación de palma aceitera (*Elaeis guineensis*) a partir del procesamiento digital de una imagen Spot-xs. Revista CIAF. 13 (1): 49-54.
9. MATTHEWS, R. E. F. 1993. Diagnosis of plant virus diseases. Ed. R. E. F. Matthews. CRC Press. 374p.
10. McINTIRE, J. L. AND D. C. SANDS. 1977. How Disease is Diagnosed. In: HORSFALL, J. C. and COWLING, E. B. Plant Disease, Vol.1. New York: Academic Press, p.35-53.
11. MILLER, S.A. Y R.R. MARTIN. 1988. Molecular diagnosis of plant disease. Ann Rev. Phytopathol. 26:409-427.
12. MOUKHAMEDOV, R.; X. HU, R. N. NAZAR, AND J. ROBB. 1994. Use of Polymerase Chain Reaction-Amplified Ribosomal Intergenic Sequences for the diagnosis of *Verticillium tricorpus*. Phytopathology. 84(3):256-259.
13. WALLEN, V. R. AND H. R. JACKSON. 1978. Alfalfa winter injury, survival, and vigor determined from aerial photographs. Agronomy Journal. 70:922-924.

MÉTODOS INMUNOQUÍMICOS DE DIAGNÓSTICO DE ENFERMEDADES

Luz Marina Mantilla
Programa Epidemiología Vegetal
CORPOICA

1. INTRODUCCIÓN

El diagnóstico acertado y temprano de las enfermedades de plantas es un componente crucial para su manejo. Las enfermedades pueden ser controladas efectivamente, si las medidas de control son implementadas en estados tempranos de desarrollo de la enfermedad.

Confiar en los síntomas no es adecuado, ya que la enfermedad puede desarrollarse, sin que exista una manifestación de estos y su expresión puede ser altamente variable.

Dentro de los métodos convencionales de diagnóstico de las enfermedades, se pueden relacionar los siguientes: observación de síntomas, pruebas con plantas indicadoras (virus), examen microscópico de las partes afectadas, caracterización morfológica del agente etiológico, determinación de propiedades bioquímicas de los aislamientos bacterianos, entre otros.

Recientemente los avances de la biología molecular y la biotecnología, son aplicados para el desarrollo de pruebas rápidas específicas y sensibles en la detección de patógenos de plantas, especialmente virus y bacterias, desarrollándose pruebas para inmunodiagnóstico y técnicas moleculares de detección de ácidos nucleicos. Dichas tecnologías son aplicadas en los últimos años para hongos, micoplasmas y nemátodos; se considera entonces que la complementación de las técnicas convencionales con los nuevos avances tecnológicos generan más precisión y permiten el manejo acertado de las plagas.

El objetivo del presente escrito radica en dar a conocer algunos métodos, incluidos en las nuevas tecnologías, y generar expectativas para su uso de acuerdo con el objeto de estudio y las condiciones de trabajo.

Dentro de los inmunoensayos se tendrán en cuenta los métodos que implican detecciones cualitativas, como en el caso de la aglutinación por látex y la inmunodifusión; y cuantitativas, como el ensayo sobre inmunoabsorbente con enzima unido (ELISA) cuya denominación proviene del inglés "Enzyme-linked immunoabsorbent assay"; ensayos con inmunofluorescencia y una herramienta de diagnóstico novedosa, tal como la tecnología de los anticuerpos monoclonales.

Dentro de la detección de los ácidos nucleicos, se presentan los métodos de hibridación tales como: Dot-Blot, marcajes no radiactivos, fragmentos de restricción de longitud polimórfica (RFLPs) y reacción en cadena de la polimerasa (PCR).

2. REACCION ANTIGENO - ANTICUERPO

El sistema inmunitario funciona de dos formas diferentes, mediante la inmunidad HUMORAL y la inmunidad CELULAR.

La inmunidad Humoral, hace referencia a la proporcionada por moléculas en disolución en el organismo. Las moléculas responsables de esta inmunidad son las proteínas llamadas en su conjunto INMUNOGLOBULINAS (Ig). Cada molécula individual es un anticuerpo, término que también se puede referir a las inmunoglobulinas, que reaccionan con determinado material. La inmunidad Celular, esta dada por células.

La inyección de cualquier sustancia extraña al organismo de un animal, promueve la formación de anticuerpos y células inmunes capaces de unirse a dicha sustancia. La sustancia que produce la formación de anticuerpos o células inmunes se le conoce con el nombre de ANTIGENO.

La función de una molécula de anticuerpo es la de unirse con alta afinidad a una región limitada de un antígeno. En tal unión intervienen fuerzas de van der Waals, fuerzas iónicas e hidrofóbicas, sin que se forme ningún enlace covalente entre el anticuerpo y el antígeno.

El sitio de un antígeno al que se une un anticuerpo dado es el determinante. La superficie de una molécula proteica presenta muchos determinantes posibles, a los que se pueden unir los anticuerpos. Algunos antígenos tienen estructuras repetitivas, de forma que el mismo determinante puede darse muchas veces. Este tipo de antígeno se denomina multivalente. Un buen ejemplo de esto lo constituye una partícula viral (Figura 1).

La molécula del anticuerpo está dividida en dos regiones análogas: dominios de unión, que interaccionan con el antígeno, y dominios efectores, que constituyen la señal para el inicio de procesos, tales como la fagocitosis. También cada molécula del anticuerpo está constituida por dos tipos de cadenas polipeptídicas de distinto tamaño: cadenas ligeras (L) y cadenas pesadas (H); el anticuerpo es bivalente y posee dos sitios de reconocimiento (Figura 2).

3. REACCIONES DE PRECIPITACIÓN

Las reacciones de precipitación ó precipitinas, son las reacciones que mas han contribuido al desarrollo de la Inmunoquímica. El nombre de la reacción es derivado de la formación de un precipitado visible, el cual es formado cuando cantidades adecuadas de antígeno y anticuerpo son adicionadas para su combinación tales reacciones se pueden realizar en medios líquidos o en geles de agar.

La precipitación es un término utilizado para describir la insolubilización de macromoléculas y partículas virales; mientras que la aglutinación se refiere al agrupamiento de células o de partículas de tamaño similar

El tamaño del antígeno reaccionante influencia la interacción del número de moléculas requeridas de anticuerpo, para producir una agregación visible.

En la curva de precipitina puede notarse que en la medida en que se agrega más antígeno, se alcanza un estado óptimo, tras el cual se forma menos precipitado.

En estas reacciones se presentan dos estados: el primero es el reconocimiento inmune específico, que lleva a la formación del complejo antígeno-anticuerpo; el segundo, en el cual se da la reacción de precipitación, que consiste en la formación de una fase hidrofóbica e insoluble en ciertas condiciones iónicas y de pH.

Los agregados que se forman mediante esta reacción, pueden ser cuantificados por nefelometría, dada por la turbidez presentada en cada tubo, la cual es medida a través de la dispersión de una fuente luminosa.

4. INMUNODIFUSIÓN SIMPLE: DIFUSIÓN SENCILLA O SIMPLE

Esta técnica también conocida como el método de Oudin, requiere que un reactante externo, usualmente en una fase líquida, migre dentro de un gel que contiene el otro reactante. Esto significa que el reactante que se difunde debe estar presente en un exceso considerable en comparación con el reactante interno.

La difusión de una mezcla compleja de antígenos en un gel, dará lugar a múltiples líneas de precipitación, que traslapan parcialmente unas con otras. Si se usa un anticuerpo monoespecífico, el antígeno correspondiente se suele identificar fácilmente en diferentes muestras, por la presencia o ausencia del inmunoprecipitado en el *gel*. Con anticuerpo específico, es también posible revelar grupos específicos antigénicos en proteínas similares de diferente origen biológico.

Esta técnica puede ser utilizada para evaluación cualitativa de mezclas de antígenos, pero su aplicación principal ha sido en el campo de la determinación de antígenos proteicos en líquidos biológicos.

5. DOBLE INMUNODIFUSIÓN O INMUNODIFUSIÓN DOBLE

Técnica descrita por Ouchterlony en 1958, es el método más empleado para la identificación y estudio de virus, bacterias y hongos fitopatógenos.

En esta técnica el antígeno y el anticuerpo se difunden en el gel y al unirse, forman líneas de precipitación que permanecen estacionarias, si las concentraciones de antígeno y anticuerpo empleadas corresponden a su punto de equivalencia.

Este es un método muy aceptado pues puede diferenciar mezclas de antígenos y determinar, mediante los patrones de las líneas de precipitación definidas, las reacciones de identidad parcial o no identidad entre antígenos.

En virología vegetal, esta técnica fue introducida por Van Regenmortel y Engelbrecht en 1962, para la determinación rápida de virus isométricos. También se ha empleado con la gran mayoría de virus y ha dado apoyo a los programas de control fitosanitario, evaluación y control de la calidad de semillas de papa, tabaco y leguminosas en algunos países del mundo.

En la parte de bacteriología se ha empleado en el diagnóstico de especies fitopatógenas y ha permitido establecer la presencia de serotipos en especies como: *Pseudomonas phaseolicola*, *Erwinia carotovora*, *E. chrysanthemi* y *Xanthomonas campestris*, entre otras.

6. INMUNODIFUSIÓN RADIAL

Este método está basado en el principio de la difusión en dos dimensiones. Usualmente se realiza en cajas petri, con una concentración de anticuerpos que están contenidos en el agar. El antígeno es colocado en pequeños pozos que difunden radialmente en el medio. Se forma entonces un halo de precipitación alrededor del pozo, hasta que todo el antígeno es consumido, incrementándose así el tamaño de este. Cuando el halo no se incrementa más en diámetro, se puede encontrar una medida cuantitativa de la concentración del antígeno; cuanto mayor sea la concentración de este, mayor será el diámetro del halo. Si se incorporan por ejemplo tres patrones de concentración conocida del antígeno, puede obtenerse una curva de calibración que pueda utilizarse para determinar la cantidad de antígeno que se encuentra en muestras conocidas.

La principal área de aplicación de este método ha sido el estudio de virus de plantas, lo cual ha llevado a un diagnóstico rápido, mediante la disociación química de las proteínas de las cápsidas de estos.

Esta prueba es más sensible que la de procedimientos de doble difusión. Ha sido utilizada para el diagnóstico masivo en cultivos de importancia como la papa, para la titulación de anticuerpos contra virus y bacterias fitopatógenas y en la evaluación de su especificidad.

7. INMUNOELECTROFORESIS

Esta técnica es una herramienta analítica importante para separar mezclas complejas de antígenos. Esta diferenciación se establece partiendo de dos criterios: la movilidad electroforética y la especificidad antigénica.

La mezcla de antígenos es primero separada en sus componentes en los geles de agar. El anticuerpo es colocado en un canal paralelo a la ruta de la migración electroforética y así las líneas de precipitación (inmunodifusión), son desarrolladas.

Dentro de sus aplicaciones se incluye la caracterización de los virus de plantas, diferenciación entre cepas de virus y viriones y las disociaciones de sus unidades proteicas; se ha empleado para caracterizar detalladamente patovarietades de *Xanthomonas campestris*, y en la determinación de las relaciones entre diferentes aislamientos de *Diplodia natalensis*, procedentes de distintos hospederos.

8. AGLUTINACIÓN POR LÁTEX

Este fenómeno de aglutinación, conocido desde principios de siglo, es una de las reacciones antígeno anticuerpo más empleada en la práctica serológica.

En esta técnica, el anticuerpo es absorbido o pegado a partículas comerciales de poliestireno, luego de la determinación de la concentración a utilizarse, sea de antisuero ó inmunoglobulina purificada. Al enfrentar las partículas de látex sensibilizadas al antígeno específico, se produce la reacción de las esferas magnificando de esta forma la reacción inmune.

El mecanismo de aglutinación no solo está influenciado por la unión antígeno-anticuerpo; también influyen factores como la heterogeneidad de las clases de inmunoglobulinas presentes, diferencias intrínsecas en la afinidad de los anticuerpos involucrados y la constante dieléctrica del medio.

Los ensayos de aglutinación son sencillos y sensibles y requieren poca cantidad de reactivos.

En fitopatología esta técnica, se ha utilizado para el diagnóstico de rutina de virus alargados e isométricos; así como, para el estudio de relaciones antigénicas. En bacteriología se ha usado para detectar bacterias tales como: *Clavibacter michiganensis* y *Pseudomonas solanacearum*

9. TÉCNICAS DE ANTICUERPOS MARCADOS

La sensibilidad de las reacciones antígeno-anticuerpo, pueden ser incrementadas mediante la unión de marcadores, dentro de las cuales se encuentran: enzimas, colorantes fluorescentes y materiales radiactivos.

El uso de enzimas para marcar anticuerpos fue primero reportada en 1966 y originalmente desarrolla para localizar antígenos en preparaciones histológicas. A nivel óptico y de microscopía electrónica se encontró que cuando los reactantes estaban unidos a una fase sólida, los ensayos inmunoenzimáticos eran apropiados para mediciones cuantitativas de antígenos y de anticuerpos. Como resultado se obtuvo el método conocido como ELISA.

Este método ha sido empleado satisfactoriamente para detectar diferentes tipos de antígenos como: virus, bacterias, hongos, micoplasmas, ácidos nucleicos y pequeñas proteína o los anticuerpos inducidos por ellas.

La presencia de la reacción antígeno-anticuerpo se revela, mediante la adición del sustrato específico de la enzima y la consiguiente formación de hidrolizados coloreados, que permiten la evaluación visual de los resultados. Dado que la retención de enzima es proporcional a la cantidad de antígeno o anticuerpo inmovilizado, es posible realizar la evaluación cuantitativa por colorimetría.

Para la utilización de este método se deben tener en cuenta algunos aspectos importantes:

La fase sólida que generalmente son microplacas de poliestireno, donde se realiza la absorción pasiva del antígeno o del anticuerpo en presencia de una solución alcalina o buffer de cobertura. En este proceso juegan papel importante las fuerzas electrostáticas. Otro inmunoabsorbente utilizado, son las membranas de nitrocelulosa.

La calidad del antisuero es una variable muy importante. Estos se producen en animales, generalmente conejos jóvenes. Se debe adoptar un esquema de inmunización, que depende de las características del antígeno y de la utilización que se dará a los antisueros.

Debe tenerse siempre en cuenta la dinámica de la respuesta inmune humoral, para tomar el suero en el momento de mayor producción de las inmunoglobulinas G.

Las inmunoglobulinas deben ser sometidas a procesos de separación y purificación mediante filtración en gradientes de densidad, ultrafiltración o cromatografía de intercambio iónico. Luego de estos procedimientos se deben almacenar a temperaturas bajas.

9.1. Tecnología de los ácidos nucleicos para el diagnóstico

Las técnicas de hibridación de los ácidos nucleicos son herramientas bien establecidas en la biología molecular. Dependen en alto grado, de la especificidad inherente a la secuencia de los pares de bases que existen en los nucleótidos. Como resultado de dicha especificidad, se están aplicando con propósitos de diagnóstico, incluyendo la detección de patógenos.

Las pruebas de los ácidos nucleicos ofrecen una ventaja sobre los métodos serológicos, ya que, pueden hacerse para un set completo de genes con un patógeno dado.

Un sistema de detección de patógenos de plantas a gran escala, puede ser realizado utilizando cDNA clonado o DNA prueba, en un ensayo denominado Dot-Blot. Estas pruebas tienen un potencial para detectar diferencias individuales de nucleótidos. Este grado de especificidad puede ser esencial para diferenciar entre virus severos o atenuados; y con el fin de determinar razas de hongos, nemátodos, bacterias y mycoplasmas.

9.2. Ensayo dot-blot

Un reciente desarrollo en hibridación es el ensayo dot-blot y representa un potencial considerable para el estudio y diagnóstico de patógenos de plantas.

En términos generales, el ácido nucleico blanco, procedente de una planta, hongo o insecto vector, es colocado sobre una matriz sólida, comúnmente nitrocelulosa, y enlazado mediante calor. Los sitios libres ligados sobre esta matriz, son bloqueados con un DNA no homólogo, procedente de esperma de salmón ó DNA de timo de ternera y una fuente de proteína, usualmente leche descremada en polvo o BSA. Después de esto, la hibridación con un DNA prueba, marcado con fósforo ³² (P), es llevada a cabo. El DNA marcado es detectado por autorradiografía; o por una reacción colorimétrica, si una enzima marcada es utilizada. Los pasos siguientes son

similares a los del ELISA, sin embargo, la base del enlace es diferente, ya que mientras el ELISA está basado en la reacción antígeno-anticuerpo, la hibridización está basada sobre la alineación de bandas complementarias de ácidos nucleicos.

Se debe recordar que hibridizar significa complementariedad de secuencias de nucleótidos (bases nitrogenadas). Para ajustar estas condiciones se debe tener en cuenta: temperatura, concentración de sales, concentración de formamida y la cantidad de pares de bases.

9.3. Fragmentos de restricción de longitud polimórfica

Esta técnica utiliza enzimas de restricción para fragmentar el DNA, el cual es entonces separado en geles de agarosa mediante la técnica de electroforesis.

Cada enzima de restricción reconoce una secuencia específica de nucleótidos y corta el DNA en un sitio determinado, siempre que la secuencia aparezca. El fragmento DNA es separado mediante geles de electroforesis y los patrones de bandeamiento son visibles mediante tinción con bromuro de etidio o por autorradiografía. Cuando el DNA mitocondrial (mt DNA), el cual tiene un rango de 10 a 200 pares de kilobases en longitud, procedente de diferentes especies, es examinado, diferencias en el tamaño y número de fragmentos de restricción pueden ser detectados. Estas diferencias pueden resultar, de insertos o deleciones entre los sitios de restricción. Las diferencias observadas en los fragmentos de restricción son conocidos como RFLPs.

Estas pruebas ayudan a identificar regiones del genoma o del DNA mitocondrial, que pueden ser usadas en el desarrollo de pruebas de razas específicas.

9.4. MÉTODOS DE HIBRIDIZACIÓN DE LOS ÁCIDOS NUCLEICOS

La hibridización de los ácidos nucleicos depende en alto grado de la especificidad inherente a las secuencias de los pares de nucleótidos. Es una herramienta establecida en la biología molecular.

Como resultado de esta especificidad la técnica esta siendo aplicada para propósitos de diagnóstico, incluyendo la detección de patógenos.

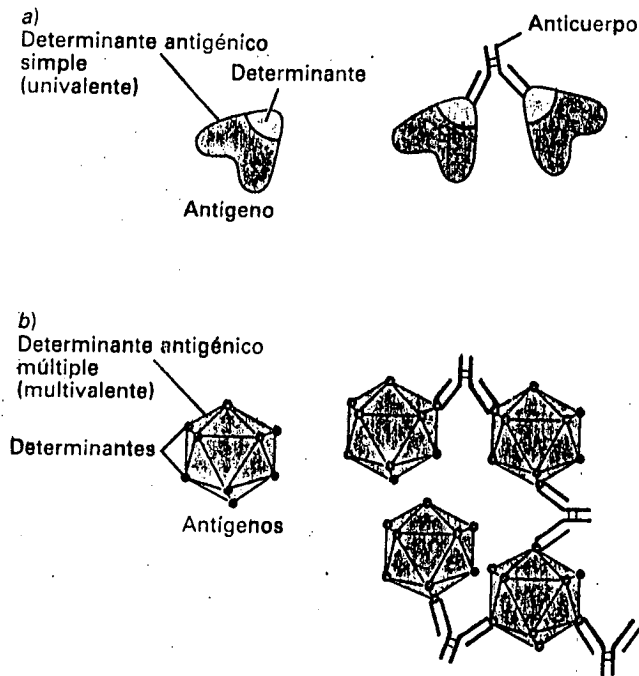


Figura 1. Los anticuerpos se unen a determinantes simples o múltiples de un antígeno. a) Unión de un anticuerpo a una proteína con un determinante único. Los dos sitios del anticuerpo pueden ser ocupados, pero el complejo no puede continuar creciendo. Los anticuerpos naturales son mezclas de moléculas que pueden unirse a muchos determinantes de un antígeno, siendo potencialmente capaces de formar amplios agregados. b) Algunos antígenos, especialmente los virus, presentan múltiples determinantes idénticos en una única partícula. Incluso una población pura de anticuerpos es capaz de formar grandes agregados al reaccionar con este tipo de antígenos.

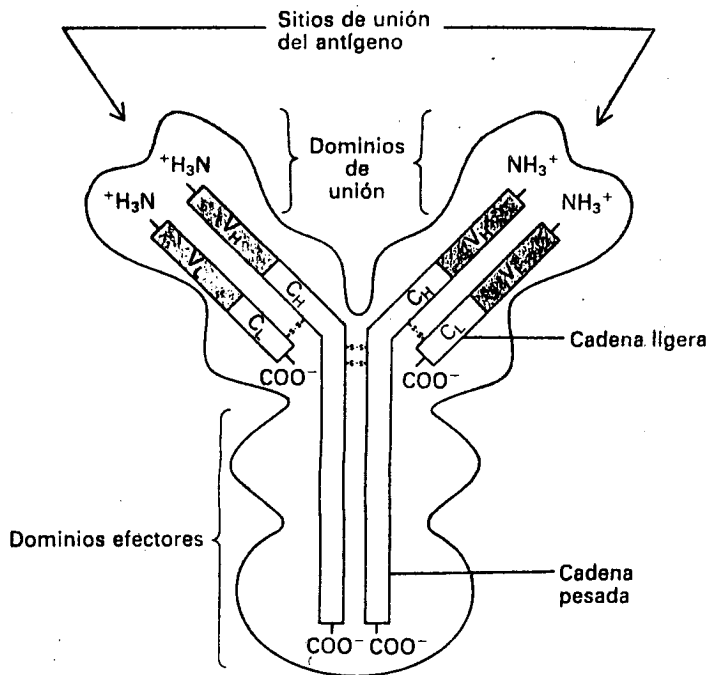


Figura 2. Representación esquemática de una molécula de anticuerpo. La fijación del antígeno se produce en los dos extremos superiores de la Y que forma la molécula, donde las cadenas ligera y pesada están en íntimo contacto. La porción inferior de la Y contiene la región efectora, formada únicamente por dominios de las cadenas pesadas. Se indican los extremos N terminal (NH_3^+) y C terminal (COO^-) de las cadenas ligeras y pesadas. Puentes disulfuro (S-S) unen las distintas cadenas entre sí.

FUNDAMENTOS E IMPORTANCIA DE LA EPIDEMIOLOGÍA CUALITATIVA EN EL ESTUDIO DE ENFERMEDADES DE PLANTAS

Enrique Torres
Universidad Nacional

1. INTRODUCCION

En esta presentación me propongo distinguir tres fases dentro de la epidemiología vegetal, cada una con sus correspondientes objetos de estudio, métodos y principios teóricos: [1] la epidemiología clásica, dedicada a analizar cambios cuantitativos de poblaciones del organismo patógeno en el tiempo y el espacio, con fundamentos sólidos en el pensamiento matemático; [2] la epidemiología cualitativa, que intenta relacionar estos cambios cuantitativos con modificaciones en la composición y estructura genética de las poblaciones del patógeno apoyada en principios evolutivos y ecológicos; y, finalmente, [3] la epidemiología de los perjuicios a las cosechas, consagrada a evaluar el efecto deprimente de las enfermedades sobre la producción, informada por los procesos fisiológicos del rendimiento de los cultivos y por la variabilidad cuantitativa o cualitativa de poblaciones del patógeno. Aunque estas tres fases están íntimamente relacionadas en la práctica, sus fundamentos teóricos son suficientemente diferentes como para ameritar una separación conceptual.

Como punto de partida, es conveniente revisar los principios fundamentales de la epidemiología. Los intentos de cuantificar los fenómenos asociados con las enfermedades de las plantas cultivadas alcanzaron su madurez con la publicación del libro *Plant Diseases: Epidemics and Control* (Vanderplank, 1963). El primer capítulo reconoce explícitamente que la epidemiología es la ciencia de las enfermedades en poblaciones, que el control de las enfermedades constituye parte del estudio de poblaciones de patógenos, y que "a veces hay que distinguir entre el estudio de la enfermedad en poblaciones y el estudio de poblaciones de patógenos, pero no en este libro" [mi énfasis]. En efecto, mientras que la sección 1.3 señala expresamente que el libro versará alrededor de r , la tasa de infección o *tasa de incremento intrínseco de la población del patógeno* [mi énfasis], en capítulos subsiguientes [por ejemplo, la sección 5.3], la tasa de infección r se aplica ambiguamente a cambios cuantitativos en la población del patógeno o en la cantidad de enfermedad (Vanderplank, 1963). Como resultado se tiene la situación paradójica que r sea reconocida como el eje de la epidemiología vegetal sin tener una definición rigurosa.

Este equívoco entre medidas de poblaciones de patógenos y de niveles poblacionales de enfermedad ha persistido en epidemiología vegetal hasta nuestros días. Gaunt (1995) denuncia esta imprecisión al plantear que cuando los fitopatólogos se preparan a medir la enfermedad tienen que elegir entre variables con las cuales puedan comparar el progreso de las epidemias [por ejemplo, número o tamaño de lesiones], y variables con las cuales puedan aproximarse a estimar el impacto de la enfermedad como una desviación del funcionamiento normal de la planta [por ejemplo, la duración del área fotosintéticamente activa]. Según Gaunt (1995), la estimación del progreso de una epidemia y la valoración del efecto fisiológico de la enfermedad son propósitos diametralmente opuestos que difícilmente se pueden cumplir con un solo método.

Esta dualidad de objetivos tiende a resolverse a favor de la población del patógeno antes que del nivel poblacional de las enfermedades como se ve en el tratamiento del "progreso de las enfermedades en el tiempo" en *Introduction to Plant Disease Epidemiology* (Campbell & Madden, 1990), un popular texto de epidemiología.

En efecto, la sección 9.7 (Campbell & Madden, 1990) descompone el progreso de la enfermedad [y] descrito por el modelo logístico

$$dy/dt = r.y [1-y] \quad (\text{ecuación 1})$$

en dos funciones biológicas complementarias: los cambios infinitesimales en la producción de inóculo $[n]$ en una unidad infinitesimal de tiempo, descritos por dn/dt , y expresados como $r.y$ [el producto de la tasa de incremento intrínseco de la población del patógeno por la cantidad de tejido infectado], y los cambios infinitesimales en la cantidad de enfermedad ocasionados por cambios infinitesimales correlativos en la cantidad de inóculo efectivo, descritos por dy/dn y expresados como $[1-y]$ [la cantidad de tejido sano]

$$\begin{aligned} dy/dt &= r.y (1-y) && (\text{ecuación 1}) \\ dy/dt &= [dn/dt] [dy/dn] && (\text{ecuación 1a}) \end{aligned}$$

Este desglose da pie a tres precisiones importantes, una con respecto a la función dy/dn equivalente a $[1-y]$, y dos más con respecto a la función dn/dt equivalente a $r.y$. La primera precisión ha sido incorporada en el texto (Campbell & Madden, 1990), y consiste en señalar que la función $dy/dn = [1-y]$ es una generalización del caso particular en que tanto la población del patógeno como los propágulos que constituyen su inóculo están localizados aleatoria o uniformemente en el campo. Cuando el patrón espacial de las poblaciones o del inóculo es agregado, la expresión de la función debe modificarse para indicar que la agregación reduce la eficacia del inóculo n para diseminarse de manera generalizada sobre el tejido sano $[1-y]$. El índice de agregación que aparece como exponente en la ecuación 9.52 (Campbell & Madden, 1990)

$$dy/dn = (1-y)^{1+1/k} \quad (\text{ecuación 2})$$

es la función $1+1/k = [\text{media} + (\text{varianza}/\text{media})-1]/\text{media}$ conocida como índice de parches de Lloyd (LIP).

A nivel teórico, esta primera precisión enlaza de manera clara y elegante las variaciones en patrones espaciales con la velocidad de progreso de las epidemias, y en el campo práctico permite explicar resultados en los cuales la tasa aparente de infección depende de la estructura espacial de la población del patógeno (Biere & Antonovics, 1996).

Campbell & Madden (1990) introducen la segunda precisión al plantear que la función $dn/dt = r.y$ podría expresarse más apropiadamente como $dn/dt = r.n$, lo que equivale a decir que "la producción de propágulos depende directamente del número de propágulos (equivalentes a 'infecciones' o lesiones), y *no* de la intensidad de la enfermedad" (énfasis de los autores).

Ambas precisiones evitan cualquier aclaración con respecto a r en sus dos posibles acepciones, como indicador de la tasa de progreso de la enfermedad o de la velocidad de incremento de las poblaciones del patógeno. Este equívoco alrededor del parámetro r , la tasa de infección, es tanto más serio en cuanto que la epidemiología mantiene la visión pionera de Vanderplank (1963), según la cual r es una cifra que sintetiza la agresividad de la raza del patógeno, la susceptibilidad de la variedad del hospedante, y la favorabilidad del medio físico.

Reconocer y consagrar a r como indicador sinóptico de las interacciones entre patógeno y hospedante, sin definir los procesos biológicos que determinan las diferencias entre razas de un patógeno en agresividad, virulencia y adaptación al ambiente, como lo hace la visión vanderplankiana, conduce a acoger interpretaciones que imputan estas diferencias a un mismo cambio génico, desestimando la posibilidad de que cada mutación pueda causar efectos divergentes en las diversas características del organismo mutante.

[En este sentido es importante rectificar la tendencia a inferir que las características asociadas con patogenicidad y virulencia varían de conformidad con otras características del organismo patógeno, incluyendo capacidad competitiva y éxito reproductivo. Esta interpretación errónea

llevaría a afirmar que cuando dos patotipos difieren en la amplitud de su virulencia, el patotipo con virulencia más amplia tendrá automáticamente la tasa más alta de incremento poblacional, o automáticamente la más baja, lo que es también erróneo].

Es importante rescatar la noción de que la variabilidad genética para la tasa de infección es independiente de la variabilidad para virulencia. En consecuencia, la tercera precisión consiste en destacar que al manejar la variable r en el contexto de la función $dn/dt = r \cdot y$, o de la función análoga $dn/dt = r \cdot n$, hay que tener en cuenta explícitamente la variabilidad existente entre genotipos del patógeno para esta variable, y examinar los fundamentos biológicos de su variabilidad.

Así se establece el objeto de trabajo y el propósito de la epidemiología cualitativa como la comparación de diferentes caracteres en poblaciones de patógenos. En la práctica, la epidemiología cualitativa consiste en aplicar principios y métodos desarrollados por la genética de poblaciones a organismos fitopatógenos, y cotejar los resultados de las variaciones en virulencia u otras características de interés (por ejemplo, resistencia a fungicidas o a antibióticos) con los de las variaciones en tasa de infección.

2. VARIACION GENETICA EN LOS PATOGENOS

2.1 Mecanismos de selección natural

Numerosas investigaciones tendientes a dilucidar la estructura y la composición genética de poblaciones biológicas han encontrado diferentes grados de polimorfismo. Con base en conceptos de ecología evolutiva se puede anticipar que una población rica en polimorfismos probablemente es compleja en su composición genética y en las interacciones génicas. En estas poblaciones, el éxito evolutivo (fitness) de sus componentes no está asociado de manera predominante o exclusiva con un fenotipo sino que está repartido entre fenotipos diferentes. La continuidad del polimorfismo se explica por la acción de mecanismos genéticos tales como pleiotropía antagonista o desequilibrio de ligamiento que evitan la combinación de los caracteres que contribuyen al éxito reproductivo en un solo fenotipo. Lo opuesto, la ausencia o escasez de polimorfismo en una población, se puede interpretar como la expresión de una estrecha variación genética, la cual es atribuible, desde una perspectiva evolutiva, a que el fenotipo o los pocos fenotipos expresados tienen un máximo valor de adaptación bajo las condiciones locales, por lo cual los alelos o los genes responsables se han fijado en la población a expensas de otros alelos en el mismo gen o de otros genes, según el caso.

Para el caso particular de organismos fitopatógenos, es frecuente encontrar abundante polimorfismo (consultar pp. 26-30 en ASCOLFI 1994; pp. 71-76 en ASCOLFI, 1996 para ejemplos colombianos recientes). Aunque el polimorfismo de las poblaciones de fitopatógenos se puede expresar en numerosas características, el sesgo agronómico de las investigaciones favorece la identificación de polimorfismos en características referidas a interacciones con las plantas, tales como 'patogenicidad', definida como la capacidad intrínseca de provocar infecciones sintomáticas, y, aún más frecuentemente, 'virulencia', definida como la capacidad de evadir el sistema de reconocimiento de las plantas que activa los mecanismos de defensa antimicrobianos, según se verá más adelante.

2.1.1. Explicación de la especificidad de la resistencia

La interpretación de la resistencia específica entre genotipos de plantas y genotipos de patógenos ha sido facilitada por el modelo de gen por gen propuesto por Harold Henry Flor con base en evidencias genéticas obtenidas de sus observaciones en progenies de cruzamientos realizados

entre variedades de lino y entre razas de la roya del lino, y cuya aplicabilidad ha sido corroborada en numerosas combinaciones hospedante-parásito (enumeradas en Palmer, 1994).

La resistencia por hipersensibilidad se manifiesta fenotípicamente al activarse los mecanismos de defensa con que cuenta la planta, tales como liberación de fenoles con la subsiguiente lignificación de las paredes celulares, y producción de hidrolasas y fitoalexinas antimicrobianas. La versión molecular de la teoría de gen por gen que se invoca actualmente para describir la especificidad a nivel genotípico de la resistencia, propone algún tipo de reconocimiento entre el patógeno y el susceptible.

Este reconocimiento requiere de la presencia simultánea de una proteína señalizadora o ligando proveniente del patógeno y de una proteína receptora proveniente de la planta. La interacción específica de estas dos proteínas activa una ruta de transcripción de señales que a su vez induce la expresión de los genes responsables de la defensa del hospedante (Reuber & Ausubel, 1996). La muerte celular programada o apoptosis (Wang et al., 1996) es otra respuesta de defensa inducible a través del mecanismo de reconocimiento ligando-receptor.

La versión molecular de la teoría de gen por gen ha logrado avances espectaculares en los últimos años. Recientemente se ha demostrado que los mecanismos de defensa de *Arabidopsis* solo se activan cuando el ligando o señal del patógeno (en este caso la proteína AvrB de *Pseudomonas syringae*) interactúa con el receptor (en este caso la proteína RPM1 de *Arabidopsis*) en el interior de las células del hospedante (Gopalan et al., 1996). De otra parte, se ha encontrado que el fenotipo de la resistencia que se induce a través del mecanismo de reconocimiento puede variar dependiendo del juego de proteínas ligando-receptor que determinen la respuesta, lo cual apunta a la existencia de una variedad de rutas, mensajeros y destinos para activar genes de defensa a partir del reconocimiento de las señales de la planta y el patógeno (Reuber & Ausubel, 1996).

Indudablemente, una de las contribuciones más trascendentales del desarrollo molecular de la teoría de gen por gen al entendimiento cabal de las interacciones hospedante - parásito ha sido el descubrimiento que cuando un patógeno sufre una mutación que le significa la pérdida de función o incluso la supresión del gen responsable de la síntesis de la proteína ligando que interactúa con la proteína receptora en la planta, se pierde el reconocimiento del patógeno por parte de la planta, se cancela la reacción de hipersensibilidad, se frena la inducción de las respuestas de defensa, y sobreviene la manifestación fenotípica de susceptibilidad (Reuber & Ausubel, 1996; Caten, 1996). Este proceso ha sido ampliamente estudiado en bacterias y hongos fitopatógenos.

La interacción entre el tomate y el hongo *Cladosporium fulvum* ha sido estudiada en detalle por el grupo de fitopatólogos de la Universidad Agrícola de Wageningen que dirige Pierre deWit. Los resultados de sus investigaciones han corroborado que la alteración o supresión del gen que codifica para la proteína señalizadora en el patógeno cambia la expresión fenotípica de resistencia a susceptibilidad en las plantas que llevan el gen de reconocimiento para esa señal.

Dos resultados son de particular interés. El primero es que cuando se transformaron aislamientos de *C. fulvum* avirulentos en variedades portadoras del gen *Cf9* mediante la alteración del gen *avr9*, los aislamientos transformados no produjeron el polipéptido característico de dicho gen y fueron virulentos en las antedichas variedades (Marmeisse et al., 1993). El otro resultado tiene que ver con la causa inmediata de la pérdida de la resistencia en condiciones naturales: según se ha indicado, las variedades portadoras del gen *Cf4* son resistentes a los aislamientos del hongo que producen la proteína AVR4 y susceptibles a los que no la producen. El secuenciamiento de la proteína AVR4 reveló ocho residuos de cisteína. Posteriormente se encontró que aislamientos virulentos en *Cf4* pertenecientes a diversas razas del hongo sintetizaban una proteína cuya secuencia era notablemente similar a la de AVR4, con la única diferencia de que uno de los ocho residuos de cisteína había sido reemplazado por tirosina, lo cual implica la sustitución de la base

guanina en el codón TGT por la base adenina para dar el codón TAT (Joosten et al., 1994). Esta única sustitución es suficiente para que la proteína resultante no sea reconocida por la planta, y su reacción frente al patógeno mutante cambie de resistente a susceptible.

Los cambios cualitativos en el patógeno pueden darse súbitamente. Recientemente se registró un cambio racial rápido en *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* que a nivel fenotípico representó la pérdida de la resistencia de una variedad de pimentón, pero que a nivel genético de la bacteria patógena solo implicó la pérdida del plásmido que lleva el gen que codifica la proteína señalizadora (Kousik & Ritchie, 1996).

Así se esclarece que el fenómeno descrito comúnmente como 'quiebra' o 'ruptura' de la resistencia se explica en realidad por la pérdida de la función génica en el patógeno que codifica para la señal. Esta pérdida de función le permite al patógeno eludir las defensas de la planta que son inducibles de manera primaria por el reconocimiento de esta señal (Caten, 1996; Reuber & Ausubel, 1996).

2.1.2. La teoría de gen por gen y el polimorfismo

Argumentando que las mutaciones por pérdida de función son potencialmente nocivas a los organismos, se ha planteado que cuando las proteínas ligando cumplen alguna actividad importante en la fisiología del patógeno, su pérdida puede afectar adversamente el éxito reproductivo del organismo. Cuando el efecto es letal o muy nocivo, la versión mutante del gen desaparece de la población, o permanece con baja frecuencia. Esta correlación negativa entre la ampliación del rango de hospedantes y el éxito reproductivo se interpreta como una coerción a la evolución, ya que los genotipos originales, avirulentos por llevar la señal pero más competitivos que los mutantes, tienden a persistir en la población junto con los mutantes, originando los polimorfismos observados frecuentemente en poblaciones de patógenos (Parker, 1994).

Para estas correlaciones negativas se ha propuesto el símil de un 'costo', aplicable tanto para el carácter de virulencia en los patógenos (Parker, 1995) como para el de resistencia en las plantas. Blere y Antonovics (1996) examinan el caso de *Silene alba*, una planta arvense dioica que es atacada por *Ustilago violacea*, el hongo del carbón de las anteras, y argumentan convincentemente que la resistencia por escape a la infección mediante la reducción en el número de flores tiene un alto costo en éxito reproductivo para el sexo masculino.

Aparentemente, estos 'costos' representan transacciones en la evolución de los organismos, cuando los procesos de variación o de selección no permiten combinar dos o más características en un mismo fenotipo. El resultado neto es la persistencia de diferentes fenotipos, con sendas adaptaciones ventajosas. En este sentido, la selección natural les estaría pasando cuentas de cobro a los individuos y a las poblaciones. A los primeros les cobra la posesión de un carácter negándoles otros, y a las segundas les orienta o restringe su evolución imponiendo polimorfismos que limitan la explotación máxima de los recursos disponibles.

2.2. Orígenes de la variación en poblaciones de patógenos

Generalmente se asume que las variaciones en poblaciones de patógenos surgen de cambios genéticos a nivel individual que pueden ser detectados oportunamente, a pesar de su baja frecuencia, o cuya probabilidad de ocurrencia puede establecerse. Esta afirmación puede verificarse con el ejemplo citado de *X. campestris* pv. *vesicatoria*. Se dispone de información que los cambios de una raza a otra se dan por pérdida de genes que codifican señales detectables por las plantas de pimentón, que dos de estos genes van en plásmidos autotransmisibles, y que la frecuencia de transmisión es de 4×10^{-4} mutantes por división celular (Kousik & Ritchie, 1996). De otra parte, un reconocimiento de perfiles plasmídicos de *X. campestris* pv. *vesicatoria* reveló que el 98 por ciento de los aislamientos estudiados llevaban plásmidos, que estos plásmidos llevan

genes de avirulencia y de resistencia a cobre y a antibióticos usados para su control, y que había un amplio polimorfismo de perfiles plasmídicos (Canteros et al., 1995).

Además del proceso descrito en el párrafo anterior, hay mecanismos evolutivos alternativos que modifican la composición genética de las poblaciones, y mantienen el polimorfismo. Entre estos mecanismos sobresale por su importancia epidemiológica la dinámica de metapoblaciones. El concepto de metapoblaciones implica tres condiciones: la estructuración o subdivisión espacial de las poblaciones, la posibilidad de extinción de poblaciones locales y la subsiguiente recolonización por poblaciones cuya composición y estructura genética son independientes de las características de la población extinta (Harrison & Hastings, 1996). Las migraciones juegan un papel importante mas no esencial en la dinámica metapoblacional. Así, los bancos de semillas contribuyen a la estructura de metapoblaciones, sin que haya migración (*sensu stricto*).

Los cambios rápidos observados en poblaciones de la roya del lino silvestre (*Linum marginale*) en Australia han sido explicados por eventos de extinción seguidos del establecimiento de propágulos provenientes de otras poblaciones (Burdon & Jarosz, 1992). Cuando las poblaciones del hospedante pueden describirse también por características de subdivisión espacial, posibilidad de extinción de poblaciones locales y recolonización posterior con poblaciones de diversa composición genética, el efecto combinado de las dos metapoblaciones es aún más marcado (Burdon et al., 1995).

3. Implicaciones prácticas

El análisis anterior distingue entre poblaciones de patógenos que cambian gradualmente por procesos de selección a partir de mutaciones individuales con frecuencias relativamente bajas, y poblaciones que cambian bruscamente por dinámicas de metapoblaciones. Para las primeras, sus oportunidades evolutivas dependen (a) de la intensidad de selección que ejerza la población de plantas hospedantes y (b) del costo en éxito reproductivo que impliquen las respectivas mutaciones. La primera condición es variable a voluntad del agricultor, y su efecto es claro y previsible, ya que una mayor intensidad de selección, favorecida por el monocultivo, aumenta las posibilidades de incremento de los mutantes virulentos. La segunda condición no es manipulable, pero su efecto se puede determinar mediante monitoreo de nuevos mutantes (Wolfe & McDermott, 1994; Drenth et al., 1996) y de comparación del comportamiento de los mutantes con el de los componentes originales en términos de virulencia, agresividad y adaptación al ambiente (Ahmed et al., 1996; Lehman & Shaner, 1996). La comparación directa de capacidad competitiva entre los genotipos originales y los mutantes con rango ampliado de hospedantes es la vía recomendable para aquellos organismos cuya biología lo permita.

La dinámica metapoblacional es una fuerza evolutiva aleatoria que nulifica los procesos de selección. En el campo de la fitopatología, puede ser muy importante en determinar la estructura y la composición genética de poblaciones de patógenos foliares cuyos propágulos se dispersan por el viento. Por lo anterior, es imperativo determinar la importancia del papel que juega la metapoblación en moldear o modificar la composición genética de las poblaciones de los patógenos de interés regional o nacional.

4. BIBLIOGRAFIA

1. Ahmed, H. U., Mundt, C. C., Hoffer, M. E. & Coackley, S. M. Selective influence of wheat cultivars on pathogenicity of *Mycosphaerella graminicola* (Anamorph *Septoria tritici*). *Phytopathology* 86: 454-458.
2. ASCOLFI. 1994. XV Congreso Nacional de Fitopatología. Memorias. Bogotá, agosto 31 a 2 de septiembre de 1994.

3. ASCOLFI. 1996. XVII Congreso Nacional de Fitopatología. Memorias. Paipa, 19-21 de junio de 1996.
4. Biere, A. & Antonovics, J. 1996. Sex-specific costs of resistance to the fungal pathogen *Ustilago violacea* (*Microbotryum violaceum*) in *Silene alba*. *Evolution* 50: 1098-1110.
5. Burdon, J. J. & Jarosz, A. M. 1992. Temporal variation in the racial structure of flax rust (*Melampsora lini*) populations growing on natural stands of wild flax (*Linum marginale*): local versus metapopulation dynamics. *Plant Pathology* 41: 165-179.
6. Burdon, J. J., Ericson, L. & Müller, W. J. 1995. Temporal and spatial changes in a metapopulation of the rust pathogen *Triphragmium ulmariae* and its host, *Filipendula ulmaria*. *J. Ecol.* 83:979-989
7. Campbell, C. L. & Madden, L. V. 1990. *Introduction to Plant Disease Epidemiology*. John Wiley & Sons.
8. Canteros, B. Y., Minsavage, G. V., Jones, J. B. & Stall, R. E. 1995. Diversity of plasmids in *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria*. *Phytopathology* 85: 1482-1486.
9. Caten, C. E. 1996. The mutable and treacherous tribe revisited. *Plant Pathology* 45: 1-12.
10. Gaunt, R. E. 1995. The relationship between plant severity and yield. *Annu. Rev. Phytopathol.* 33: 119-144.
11. Gopalan, S., Bauer, D. W., Alfano, J. R., Loniello, A. O., He, S. Y. & Collmer, A. 1996. Expression of the *Pseudomonas syringae* avirulence protein AvrB in plant cells alleviate its dependence on the hypersensitive response and pathogenicity (Hrp) secretion system in eliciting genotype-specific hypersensitive cell death. *Plant Cell* 8: 1095-1105.
12. Harrison, S. & Hastings, A. 1996. Genetic and evolutionary consequences of metapopulation structure. *Trends in Ecology and Evolution* 11:180-183.
13. Joosten, M. H. A. J., Cozijnsen, T.J. & deWit, P. J. G. M. 1994. Host resistance to a fungal tomato pathogen lost by a single base-pair change in an avirulence gene. *Nature* 367: 384-386.
14. Kousik, C.S. & Ritchie, D. F. 1996. Race shift in *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* within a season in field-grown pepper. *Phytopathology* 86: 952-958.
15. Marmeisse, R., van den Ackerveken, G. F. J. M., Goosen, T., deWit, P. J. G. M. & van den Broek, H. W. J. 1993. Disruption of the avirulence gene *avr* in two races of the tomato pathogen *Cladosporium fulvum* causes virulence on tomato genotypes with the complementary resistance gene *Cf9*. *Molecular Plant Microbe Interactions* 6: 412-417.
16. Parker, M. A. 1994. Pathogens and sex in plants. *Evolutionary ecology* 8: 560-584.
17. Parker, M. A. 1996. The nature of plant-parasite specificity. *Evolutionary Ecology* 10: 319-322.
18. Reuber, T. L. & Ausubel, F. M. 1996. Isolation of arabidopsis genes that differentiate between resistance responses mediated by the RPS2 and RPM1 disease resistance genes. *Plant Cell* 8:241-249.

19. Vanderplank, 1963. *Plant Diseases: Epidemics and Control*, Academic Press.
20. Wang, H., Li, J., Bostock, R. M. & Gilchrist, D. 1996. Apoptosis: a functional paradigm for programmed plant cell death induced by a host-selective phytotoxin and invoked during development. *Plant Cell* 8:375-391.
21. Wolfe, M. S. & McDermott, J. M. 1994. Population genetics of plant pathogen interactions: The example of the *Erysiphe graminis* -*Hordeum vulgare* pathosystem. *Annu. Rev. Phytopathol.* 32:89-113.

PATRONES DE DISPOSICIÓN ESPACIAL Y SU IMPORTANCIA EN LA DEFINICIÓN DE UN PLAN DE MUESTREO EN MIP.

Myriam Cristina Duque Echeverri
Unidad de Biometría
CIAT

1. JUSTIFICACIÓN

En los países donde la producción agropecuaria juega un papel importante, la búsqueda de mayor eficiencia en el uso y conservación de recursos estimula el desarrollo de una agricultura sostenible, entendiéndose ésta como "La satisfacción de las necesidades alimenticias, manteniendo y mejorando a la misma vez la calidad del ambiente, la calidad de vida de nuestros agricultores y de la sociedad en general (Muñoz, M. A. 1995).

Este espíritu señala entre otros, los requisitos siguientes al referirse a prácticas que conformen el enfoque de sustentabilidad:

- Ser económicamente viable
- Ser socialmente justa
- Ser ambientalmente sana.

(Mejía MIL. R (1995)).

Atendiendo a este mandato y conservando la identidad regional, se busca compartir las experiencias y conocimientos con otras personas, con el propósito de adoptar y adaptar a las necesidades propias las tecnologías disponibles.

Con este idea, los conceptos que se presentarán son de tipo general, con algunos ejemplos que aporten claridad a los temas expuestos, pero con el objeto de que al ser aplicados, sea bajo los parámetros de cada región derivados por los profesionales que la atienden.

2. PRESENTACIÓN

El Manejo Integrado de Plagas (MIP) es una parte integral y definitiva del proceso de producción agrícola en cualquier esquema económico que se presente, tanto en el de subsistencia con gran cantidad de variables interactuando, como en el de industria agrícola, un sistema usualmente mas homogéneo.

Mucho se ha estudiado sobre el MIP desde los múltiples enfoques que permite, pasando por los básicos de sugerir una adecuada definición del problema, la detección de su presencia, la posible medición de su magnitud y de sus efectos y la identificación y evaluación de soluciones. Es claro, que cada uno de estos puntos necesita estar relacionado intensamente con los demás componentes, para lograr un conocimiento articulado que sea útil. Por lo tanto, las ideas aquí expuestas necesitan apoyarse sobre resultados de investigaciones previas y a la vez, darán mecanismos para la obtención de información válida que mantenga eficiente la dinámica del MIP.

Se pretende presentar en estas notas algunos elementos teóricos aplicables al MIP principalmente en hechos de índole patológica y entomológica. Un elemento común a éstas disciplinas en

situaciones de campo, es el examen de la ocurrencia espacial de un fenómeno particular. Este interés, inicialmente expresado por la ecología vegetal 60 años atrás, se ha extendido al estudio de poblaciones animales, a la geografía, la cartografía, la economía, el urbanismo, la geología, la hidrología, la arqueología, la antropología y la astronomía, hasta el punto de hablarse de la "revolución cuantitativa".

El elemento común a todas estas disciplinas es la necesidad de usar representaciones gráficas a partir de puntos, líneas y áreas, y del concepto de distancia que se deriva de ellos, para conformar un tema recientemente designado como "POINT PATTERN ANALISIS" o "ANÁLISIS DE PATRONES DE PUNTOS". Los dos enfoques principales de esta ciencia son el estudio de los PATRONES DE DISPOSICIÓN ESPACIAL y el ANÁLISIS DE DISTANCIAS entre los individuos de interés. Para los requerimientos del MIP nos concentraremos en el primero de ellos.

3. INTRODUCCIÓN

Para un investigador que necesita conocer diferentes aspectos de su interés en una población específica, resulta imposible recurrir a todos los individuos que la conforman para poder cumplir sus objetivos. Por esta razón se hace necesario tomar muestras y analizarlas, para con un esfuerzo y costos razonables llegar a conclusiones tan válidas como las que habría logrado en el caso de haber realizado un censo. Para el éxito de esta tarea, se han desarrollado una serie de técnicas estadísticas que establecen requerimientos a cumplirse en cada fase del proceso de investigación, empezando por la toma de la muestra y llegando a la metodología para el análisis de la información recopilada. Algunas de estas técnicas, especialmente interesantes por su capacidad de análisis, están cimentadas en supuestos teóricos difíciles de cumplir cuando los datos que se obtienen son conteos, como es el caso del estudio de poblaciones.

Se hace necesaria la presencia de metodologías que permitan manejar la información de tal manera que pueda analizarse válidamente con las herramientas disponibles. Para poder lograr este objetivo, cobra especial importancia el estudio de los Patrones de Disposición Espacial de las poblaciones pues una vez ha sido identificado aumenta el nivel de conocimiento sobre las características de la población y pueden utilizarse en forma específica esquemas de muestreo ágiles, que han sido especialmente diseñados para los casos como los que enfrentan las necesidades del MIP.

4. PLANES DE MUESTREO EN MIP

En casos de enfermedades, los patógenos pueden ser: hongos, bacterias, virus, nemátodos, plantas, y otros cuya interacción con las plantas de interés causan el desarrollo de la enfermedad. Conocer las condiciones necesarias para que estas interacciones tengan lugar o sean modificadas, y las características que definen temporal y espacialmente la epidemia, dará paso a la formulación de programas de monitoreo y manejo del problema.

Si se trata de insectos o artrópodos en general, el conocimiento que se tenga sobre su ciclo de vida, longevidad, estadios de desarrollo, dónde habitan, a qué temperaturas se adaptan, hospederos, enemigos naturales, estados nocivos y sus respuestas a factores bióticos y abióticos permitirán definir estrategias más focalizadas de control.

En cualquiera de los casos mencionados se requiere conocer oportuna y precisamente el estado del cultivo, los niveles de las plagas y los tipos de interacciones que están ocurriendo y por lo tanto, la necesidad de un muestreo confiable que crea un problema para el investigador y el practicante del MIP: con el propósito de obtener información biológica y ecológica necesita tomar muestras, pero un buen plan de muestreo está constituido, en gran parte, sobre el conocimiento

que se tenga. Esto lleva a que un buen plan de muestreo no sea una actividad que pueda improvisarse ni que pueda desarrollarse aceleradamente. Es un proceso de retroalimentación.

5. PATRÓN DE DISPOSICIÓN ESPACIAL

5.1. Definición y Tipos de Patrones

Entenderemos por "Disposición de una población" la forma como sus individuos están ubicados en el espacio, y para hacer referencia a ello, hablaremos del "Patrón de Dispersión", ó "Patrón de Disposición Espacial". El conocimiento del patrón de disposición espacial de una especie no es generalmente el objetivo final de una investigación, sino un elemento básico que permite explicar muchos de los comportamientos de los individuos y suministra además ayuda importante en el diseño de estudios posteriores, o en el análisis de información experimental.

Los patrones de disposición espacial son tres:

1. **Patrón al Azar:** Ocurre cuando cada punto del espacio tiene igual probabilidad de estar habitado por un individuo.
2. **Patrón Agregado o Contagioso:** Existe cuando la presencia de un individuo en un sitio aumenta la probabilidad de encontrar otros en su vecindad.
3. **Patrón Uniforme o Regular:** Se presenta cuando la presencia de un individuo disminuye la probabilidad de encontrar otros allí



Figura 1. Patrones de disposición espacial.

En numerosos estudios, en diversas áreas geográficas, se ha observado que los insectos y sus hospederos muy raramente se encuentran distribuidos al azar, y es más difícil aún encontrar una distribución regular. Existe una variedad de procesos naturales que pueden constituirse en causas de formación de un patrón de disposición: los mecanismos de reproducción, la conducta gregaria que los individuos posean y las competencias intra-específica e inter-específica pueden modificar una disposición existente. Stanton (1983) señala adicionalmente para insectos herbívoros: la movilidad limitada de semillas, polen e insectos, las diferencias ambientales que afectan la sobrevivencia, crecimiento y posibilidades de reproducción y las interacciones entre insectos y plantas.

Aparte de estas causas de tipo natural, existen otras artificiales de gran importancia: una es el desarrollo comercial de los cultivos que crea zonas altamente concentradas de plantas hospederas y de esta manera se estimula la respuesta de los insectos que llegan a alimentarse de ellas o facilita los procesos de contagio cuando se trata de enfermedades. Otra es el gradiente ambiental que se presenta por la residualidad de los productos químicos aplicados.

No obstante, donde las plantas hospederas sean abundantes, la población de insectos en el área puede llegar a saturarse y cambiar de un patrón de disposición espacial a otro. La respuesta a los sistemas de cultivo no es tampoco igual en todos los casos. Se ha demostrado que para insectos que se alimentan de diferentes plantas, la susceptibilidad de una plantación aumenta si está rodeada por otros hospederos aceptables, aunque pertenezcan a grupos taxonómicos diferentes (Lower, 1972) y que insectos específicos pueden ser confundidos por la presencia de plantas no preferidas en la vecindad, razón por la cual, cultivos intercalados pueden reducir considerablemente su presencia. Altieri et al (1977) con el propósito de estudiar la interacción cultivo-malezas-insectos utilizaron 100, 75, 50, 25 y 0% de cobertura del suelo con una combinación de malezas en un cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), registrando en diferentes oportunidades posteriores las poblaciones de insectos plagas y benéficos para cada sistema. La incidencia de ninfas y adultos de *Empoasca kraemeri* Ross y Moore (Homóptera: Cicadellidae) en el cultivo libre de malezas fue significativamente mayor (Fig. 2) posiblemente debido a repelencia o enmascaramiento de estímulos químicos por parte de las malezas. En el caso de *Diabrotica balteata* Le Conte (Coleoptera: Chrysomelidae) observaron una situación contraria presumiblemente a causa de su alta polifagia (Fig. 3).

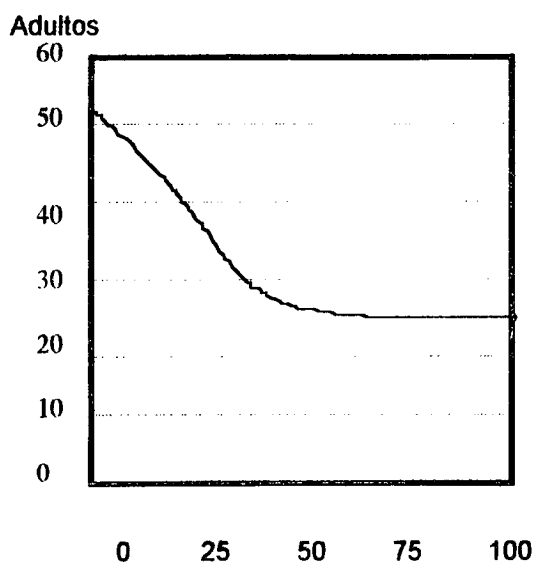


Figura 2. Efecto de cinco densidades de cobertura del suelo sobre adultos de *E. kraemeri*.

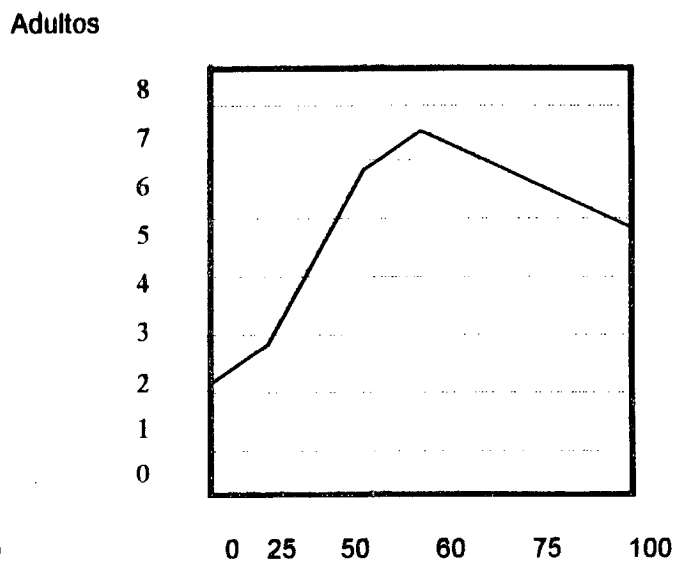


figura 3. Efecto de cinco densidades de cobertura del suelo sobre adultos de *D. balteata*.

Como un concepto general, las principales causas de formación de un patrón de disposición espacial son:

Vectorial:	Presencia de un gradiente ambiental.
Reproductivo:	Existencia de gradientes de abundancia
Social:	Motivado por la conducta de la especie
Coactivo:	Causado por conducta intraespecífica
Estocástico:	Resultado de procesos ambientales aleatorios.

5.2. Indicadores de un patrón de disposición espacial

Si una población está manifestando un patrón de disposición espacial al azar, podemos decir que la probabilidad de que al tomar una muestra, ella contenga n individuos sigue una distribución de Poisson

$$\text{Probab}(n) = \frac{M^n e^{-M}}{n!}$$

donde M = promedio de individuos por unidad de muestreo
 e = base de los logaritmos neperianos (2.71828)

Esta distribución tiene como característica especial, que el promedio (M), y la varianza (S^2) tienen igual valor. Este hecho, caracteriza a las disposiciones espaciales al azar, en igual forma que en las agregadas o contagiosas la varianza es mayor que el promedio, y en las regulares o uniformes la varianza es menor que el promedio.

Tabla 1: Relación entre M y S^2 en cada patrón de disposición espacial

Patrón	Relación
Azar	$S^2 = M$
Agregada	$S^2 > M$
Regular	$S^2 < M$

Históricamente, después de definir esta característica de los patrones de disposición, se sugirieron varios índices algunos de los cuales se mencionan a continuación:

5.2.1. Índices de dispersión aplicados a una muestra

5.2.1.1. Relación Varianza-Media

$$I = \frac{S^2}{M}$$

Como vimos, una importante característica de la distribución de Poisson, es que en ella la relación I es igual a 1, y así determinaremos que una población está espacialmente dispuesta al azar.

Si I es mayor que 1, es debido a que existen sitios muy poblados y otros no, característica de una distribución agregada. Si todos los sitios tienen aproximadamente el mismo número de individuos, su variación será pequeña y en consecuencia esta disposición, regular, tendrá un valor inferior a 1 en la relación Varianza-Media (I).

Para probar si el valor de I es significativamente diferente de 1 se calcula el valor:

$$I = \frac{(n-1)S^2}{M}$$

donde n es el número de unidades consideradas.

Esta cantidad tiene una distribución χ^2 con $n-1$ grados de libertad.

En la interpretación de este índice debemos clasificar la población en uno de los tres patrones descritos anteriormente (azar, agregada o regular), sin concluir sobre la intensidad de estos patrones por el mayor o menor valor numérico que presente, pues podrían formarse apreciaciones erradas.

5.2.1.2. Media de agregación de Lloyd

$$m^* = M + \left[\begin{array}{c} \frac{S^2}{M} \\ -1 \end{array} \right]$$

significa el número promedio por individuo, de otros individuos que comparten con él la unidad de muestreo. Con el objeto de evitar sesgos producidos cuando m^* se calcula en muestras pequeñas suele modificarse así:

$$m^* = M + \left[\begin{array}{c} \frac{S^2}{M} \\ -1 \end{array} \right] \left[\begin{array}{c} 1 + \frac{S^2}{nM} \end{array} \right]$$

la varianza de m^* será:

$$Var(m^*) = \left[\begin{array}{c} \frac{S^2}{M} \\ -1 \end{array} \right] \left[\begin{array}{c} m^* \frac{S^2}{M} \\ m^{*+2} \end{array} \right]$$

En una distribución al azar $m^* \approx M$ en el caso de una distribución agregada $m^* > M$ y en una regular $m^* < M$.

5.2.1.3. Índice de Lloyd (parcheado)

Este índice surge al notar que m^* , o media de agregación depende de la densidad de la población: un individuo en una región densamente poblada, recibe más presión para modificar su patrón de disposición que en una población dispersa, por lo tanto se hace necesario corregir este hecho. Para tal fin Lloyd propone calcular el índice:

$$L = \frac{m^*}{M}$$

el cual tiene por varianza:

$$Var(L) = \left[\begin{array}{c} \frac{S^2}{M^2} \\ \frac{2m^*}{M} \end{array} \right]$$

Al observar L fácilmente se deduce que $L=1$ en una distribución al azar, $L > 1$ en una agregada y $L < 1$ en una regular.

5.2.1.4. Índice de agregación de Morisita

Este índice se deriva del índice de Simpson de amplio uso en estudios ecológicos.

Si es biológicamente válido pensar que la población consiste en grupos de individuos de diferentes densidades y que dentro de cada grupo los individuos están distribuidos al azar, este índice puede ser usado. Como condición especial, debe cumplir que el tamaño de la unidad de muestreo permita abarcar una colonia completa.

El índice I se define así:

$$I = \frac{N \sum n_i (n_i - 1)}{n (n - 1)}$$

donde "N" es el número de muestras que se van a tomar, "n," es el número de individuos en cada muestra y "n" el número total de individuos en las N muestras. Este índice tomará valor igual a 1 cuando la población tenga un patrón de disposición espacial al azar, sería > 1 en condiciones de contagio y tendrá un valor inferior a 1 si es regular.

La significancia de su diferencia con 1 se probará con el estadístico F:

$$F = \frac{(n-1) - N-n}{N-1}$$

el cual tiene una distribución F con N-1 grados de libertad en el numerador y con infinitos grados de libertad en el denominador.

Si bien el índice es sencillo de calcular, los supuestos requeridos exigen amplio conocimiento de la población y por lo tanto posiblemente no sorprende con sus resultados.

5.2.1.4. Parámetro K de la distribución binomial negativa

Esta distribución tiene dos parámetros que la describen completamente: son su promedio y el coeficiente K. La media es una característica de la población y no depende de la unidad de muestreo, pero el coeficiente K si depende parcialmente de características de la muestra. Esta limitante hace de él un índice de poca credibilidad, salvo en circunstancias en las cuales las poblaciones están estables.

Valores bajos de K (<8) sugieren contagio, valores altos distribución al azar.

CONCLUSIÓN

Los anteriores índices son fáciles de calcular, pero tienen serias desventajas debido a su cálculo a partir de una muestra, registrando así, sólo lo que ocurre en una área y momento determinados, en circunstancias que pueden ser modificadas por la naturaleza. Es recomendable, cuando por razones biológicas se suponga que ha habido modificaciones, hacer otra evaluación del patrón de disposición espacial.

Todos estos índices son muy sensibles al tamaño de la muestra, siendo peligroso su uso con muestras pequeñas, por lo tanto se recomienda un uso cuidadoso en estos casos.

5.2.2. Índices de dispersión aplicados a una serie de muestras

5.2.2.1. La Ley de Potencia de Taylor

Taylor (1961) citado por Southwood (1978), encontró que para una gran cantidad de especies animales se presenta una relación entre la varianza (S^2) y la media (M) que puede expresarse con la ecuación

$$S^2 = a M^b, \text{ o equivalentemente, } \ln(S^2) = \ln(a) + b \ln(M)$$

El valor de la pendiente "b", puede interpretarse como una característica de la población en el hábitat, y el intercepto "ln (a)", una función del método de muestreo.

Gráficamente

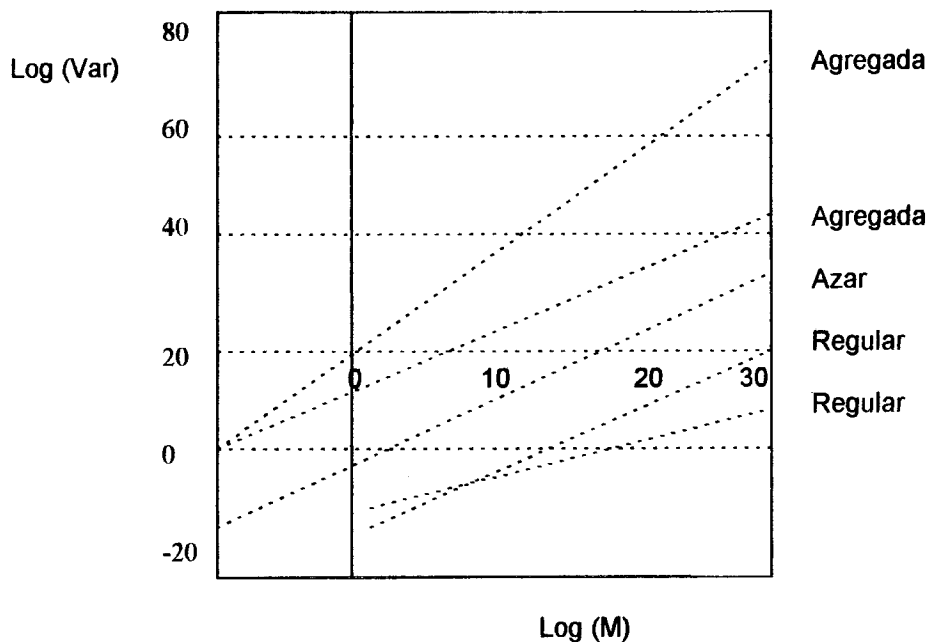


Figura 4. Relación entre Log (varianza) y Log (promedio) según la Ley de Taylor.

Resumiendo y expresando matemáticamente:

Tabla 2. Parámetros de la Ley de Taylor y su significado

	Intercepto	Pendiente	Disposición
a	Log (a)	b	
1	0	1	azar
>1	>0	1	agregada
>0	cualquier valor	>1	agregada
0<a<1	<0	1	regular
>0	cualquier valor	<1	regular

Además de los aportes de tipo biológico, la Ley de Taylor sugiere una transformación para los datos que deben someterse a estudios más formales, por ejemplo a análisis de varianza, para que dichas pruebas puedan construirse sobre un conjunto que respete los supuestos del modelo. Esta transformación consiste en reemplazar cada valor observado, X , por otro, X^T , definido así:

$$X^T = X^{(1-b/2)} \quad \text{Si } b \text{ diferente de } 2$$

$$X^T = \ln(X) \quad \text{Si } b=2 \quad \text{In: Logaritmo natural}$$

Para ilustrar el uso de la Ley de Taylor, tomemos los resultados obtenidos por Reilly *et al* (1983), cuando se requería conocer el patrón de dispersión de la hormiga importada *Pseudatomoscelis seriatus* (Reuter) y su relación con otros depredadores en el agroecosistema de un cultivo de algodón en Texas, 1974.

Tabla 3: Coeficientes de Taylor de varios insectos en un cultivo de algodón

Especie	b	a	R ²⁽¹⁾	X ⁺⁽²⁾
<i>Solenopsis invicta</i>	1.49***	3.89***	0.81	0.26
<i>Aphis sp.</i>	1.44***	7.69***	0.95	0.28
<i>Pseudatomoscelis seriatus</i> adultos	1.31***	1.75***	0.94	0.35
<i>Pseudatomoscelis seriatus</i> ninfas	1.27***	2.32***	0.97	0.37
<i>Orius insidiosus</i>	1.20**	1.95***	0.96	0.40
<i>Geocoris spp.</i>	1.03	1.48***	0.93	0.49

** : Significativamente diferente de 1 (confiabilidad 99%)

*** : Significativamente diferente de 1 (confiabilidad 99.9%)

(1) coeficiente de determinación

(2) exponente para transformación de datos si fuese necesario para análisis.

De los insectos estudiados solo *Geocoris spp* tiene un valor "b" que no fue significativamente mayor que 1, pero dado que el coeficiente "a" si lo fue, se asume que igual a los otros insectos considerados, su disposición espacial es agregada, o sea se encuentran formando colonias.

Para el ajuste de la Ley de Taylor se recomienda utilizar la versión linealizada mediante la transformación logarítmica. Esta ley, muy estudiada en aplicaciones ecológicas ha sido evaluada, mirada con espíritu crítico, defendida y ajustada. Algunas de las recomendaciones prácticas mencionadas por Tonhasca et al (1 994) son las siguientes:

- Realice un ajuste con todos los datos disponibles: parejas (M, S²)
- Calcule el valor crítico $c = a^{1/(1-b)}$.
Si hay parejas de datos en los cuales $M < c$ descártelas.
- Si tuvo que descartar valores, ajuste nuevamente la ecuación con las parejas restantes.

5.2.2.2. Ley de Iwao

Iwao (1 968) sugiere calcular para cada muestra su promedio M, y la media de agregación de Lloyd m* y estimar los valores de a y B en la relación:

$$m^* = \alpha + \beta M$$

En la cual a = índice básico de contagio. Representa, por cada individuo que se encuentre en la unidad de muestreo, cuántos se espera que convivan con él.

β = Coeficiente de Densidad-contagio refleja la forma como este individuo o grupo de individuos están localizados en un ambiente.

Su interpretación puede hacerse de la manera indicada en la tabla 4.:

Uno de los mayores méritos de la ley de Iwao, es el de traer como un nuevo elemento al análisis, la consideración de las unidades básicas de la población, para luego buscar la forma como se distribuyen en el espacio. Posteriormente encontramos una valiosa aplicación del conocimiento de los coeficientes de la ley de Iwao. Estamos hablando del muestreo secuencial, una alternativa de gran utilidad en el estudio de poblaciones animales.

Tabla 4: Parámetros de la ley de Iwao y su significado

Parámetro	Valor	Significado
α	< 0	Tendencia de los individuos a la repulsión
	= 0	Individuos aislados
	> 0	Tendencia de los individuos a agruparse (colonias)
β	< 1	Individuos o colonias distribuidas regularmente
	= 1	Individuos o colonias distribuidas al azar
	> 1	Individuos o colonias distribuidas agregadamente

Para el caso particular de la distribución binomial negativa $\alpha=0$ y $\beta=1+1/k$. En la distribución de Poisson, $\alpha=0$ y $\beta=1$ y en la binomial positiva $\alpha=0$ y $\beta=0$.

A manera de ejemplo consideremos la investigación realizada por Bechinski y Pedigo (1981) en la cual pretendían desarrollar planes de muestreo confiables para conocer la magnitud de las poblaciones de los depredadores *Orius insidiosus* (Say) y *Nabis ssp* y utilizarlos como elementos fundamentales en la estrategia de control de plagas en soya.

Sin conocer bien estas poblaciones sería imposible cuantificar el trabajo de los depredadores en el control del problema y decidir eficientemente, si hay que utilizar o no otros mecanismos de control.

Tabla 5: Resultados de la ley de Iwao para insectos benéficos de soya.

Depredador	n ⁽¹⁾	α	β	R ²⁽²⁾
<i>O. insidiosus</i>				
Ninfas	212	0.4232**	1.1240**	0.80
Adultos	221	0.1672**	1.1599**	0.72
<i>Nabis spp.</i>				
Ninfas	214	0.2328**	1.0634*	0.86
Adultos	239	0.0594	1.1826	0.41

1) n: número de datos que entran en la regresión

2) coef. de determinación

**) α, β significativamente mayores que 0 y 1 respectivamente ($P < 0.01$)

*) α, β significativamente mayores que 0 y 1 respectivamente ($P < 0.05$)

En conclusión, los adultos de *Nabis spp* ($\alpha=0$ $\beta=1$) actúan aisladamente y se distribuyen al azar, mientras que los otros insectos considerados, conforman grupos de individuos y en cada grupo hay tendencia a la agregación.

6. QUE ES UN PLAN DE MUESTREO-ELEMENTOS CONSTITUTIVOS

La elaboración de un plan de muestreo incluye la definición de varios aspectos, principalmente dependientes del objeto del estudio, y son: Los elementos, las unidades de muestreo, el método de muestreo, el tiempo, el tamaño de la muestra y la toma de la muestra.

6.1. Los elementos

Son aquellas unidades que conforman la población, acerca de las cuales se desea información sobre cierto aspecto específico que llamaremos "Variable de análisis", o más sencillamente "variable".

6.2. Las unidades de muestreo

Son elementos que se encuentran disponibles para ser elegidos y evaluados. Las unidades de muestreo deben ser uniformes y estables, fácilmente identificables y deben suministrar información lo más precisa posible. Adicionalmente se señala que cada unidad de muestreo debe tener igual probabilidad de selección, debe permitir una fácil conversión a unidades de área y debe tener una magnitud proporcional al objeto del estudio.

En algunas oportunidades, la unidad de muestreo más adecuada por la calidad de la información que suministra, no es la mejor desde el punto de vista práctico, bien sea por el tiempo que consume la toma de la muestra, por la dificultad que implique, o por cualquier otra razón. La solución puede ser elegir otra variable de análisis, altamente relacionada con la original, que pueda ser evaluada gracias a unidades de muestreo más cómodas de manejar. Este proceso recibe el nombre de **Muestreo Indirecto**.

Es el caso de la evaluación del ataque producido por *Apion godmani* Wagner en el Vivero Internacional de Apion 1986 en CIAT, estimado como porcentaje de semillas con daño. La unidad de muestreo sería la semilla y en ella verificaríamos si registra daño o no. Debido al excesivo tiempo y manipulación que exigiría, se pensó en evaluar el porcentaje de vainas con daño y se estudió la relación entre las dos variables de análisis obteniéndose muy buenos resultados.

Hay múltiples casos de uso de muestreo indirecto, miremos algunos ejemplos: en el caso de la estimación de poblaciones de *Lymantria dispar* (Lepidoptera: Lymantriidae), Liebhold y Elkinton (1988) cuentan el número de excrementos en cambio del número de individuos. Además, sugieren que en caso de requerirse una estimación sobre la distribución de edades, ésta se haga a partir de la medición de tales excrementos.

Para resolver el mismo problema frente a ninfas de *Bemisia tabaci* (Homóptera: Aleyrodiidae) que sobreviven a aplicaciones de insecticidas en laboratorio Melamed et al. (1984) emplean el número de gotas de miel expulsadas por las ninfas en un lapso de 30 minutos.

Las unidades de muestreo pueden ser: plantas o partes de ellas, unidades de área, surcos, trampas, pases de jama, o unidades de tiempo.

Cuando se requieren estimaciones por área y las unidades muestrales no son de éste tipo existe la tendencia a hacer conversiones. Este hecho con frecuencia lleva a errores. Pieters y Sterling (1973) y Mayse et al (1978) citan ejemplos de la sobreestimación inducida por la conversión a unidades de área, de las poblaciones registradas en unidades de evaluación no adyacentes. Esto ocurre debido a que se está ignorando el patrón de disposición espacial.

Las unidades de muestreo deben cambiar según lo haga el proceso biológico o las necesidades: si en un cultivo en alguna edad fisiológica son nocivos algunos estados y otros no, puede definirse para cada uno de ellos una unidad de muestreo propia. Por ejemplo, evaluar hojas para buscar estados inmaduros y pases de jama para monitoreo de adultos, cada uno en su momento oportuno.

6.3. El tiempo

En el caso de evaluar poblaciones de artrópodos, mencionar el tiempo implica referirse a un conjunto de elementos que deben tenerse en cuenta debido a los resultados diferentes que pueden causar. Uno de estos aspectos es la hora en la cual se hace el muestreo, pues parece que entre ella y los hábitos de los animales hay gran relación.

Como ejemplo de esto, observamos en la figura 5 los resultados del trabajo de Barrientos (1986) sobre fluctuación de *Aeneolamia varia* en pasturas de *Brachiaria decumbens* en Villavicencio, Colombia.

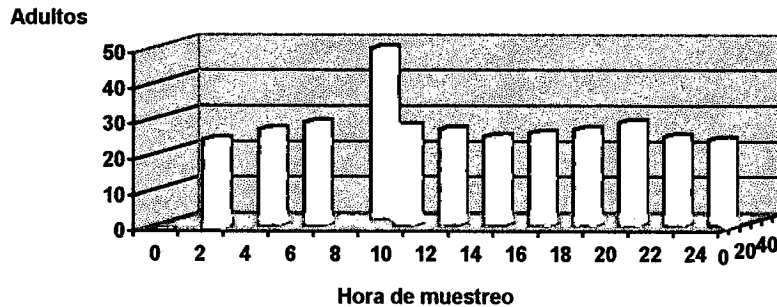


Figura 5. Efecto de la hora en el muestreo de los insectos.

La diferencia de población entre las horas de muestreo (el valor más cercano solo llegó al 73% de la hora pico) parece estar explicada por el brillo solar, lo que podría justificar la migración del insecto a zonas de penumbra. Entre los factores climáticos deben tenerse también en cuenta el **viento y la precipitación**, pues pueden causar migraciones y la **temperatura**, debido al efecto que tiene sobre el ciclo de vida.

Todas estas consideraciones, dentro del ambiente de un cultivo específico, y las características del artrópodo que se está estudiando determinarán la hora, la frecuencia, y el número de muestreos necesarios para conocer su densidad y fluctuación.

6.4. El tamaño de muestra (n)

6.4.1. Estimación de promedios

El tamaño de muestra es el número de unidades muestrales tomadas de una población para medir la característica deseada, en nuestro caso un promedio. El tamaño de muestra depende de:

- La variación entre las unidades de muestreo (S^2)
- El valor medio de la característica que se desea evaluar (M)
- La precisión o máximo error permisible definido por: el coeficiente de variación del promedio (C), por un intervalo de confianza igual a un porcentaje del promedio (D) o por un intervalo de confianza de longitud fija (H).
- Del nivel de significancia o sea el riesgo que estamos dispuestos a asumir, de que el error permitido sea excedido.

Los valores **M** y **S²** necesarios para calcular el tamaño de muestra, son valores preliminares que pueden estimarse de diferentes maneras:

- Tomando la muestra en dos partes, primero una de tamaño n, y a partir de ella estimar los valores de **S²** y **M** para calcular el tamaño definitivo.
- Hacer un muestreo piloto con carácter exploratorio.
- Por un muestreo previo de la población, o una semejante.
- Por deducción a partir del conocimiento de la población.

La decisión con respecto a la precisión y la significancia se tomará un poco subjetivamente, dependiendo de las consecuencias que pueda tener el error permisible, y de la seguridad que necesitamos de que ese error no sea excedido.

En los términos aquí definidos el tamaño de muestra, n, podrá calcularse de la siguiente manera:

Tabla 6. Tamaño de muestra para promedios con diferentes expresiones de precisión

Tamaño de Muestra	PRECISION		
	Coeficiente de variación C	Intervalo de confianza	
		% Media D	Valor Fijo H
n	$\frac{s^2}{M^2 C^2}$	$\frac{z^2 s^2}{D^2 M^2}$	$\frac{z^2 s^2}{H^2}$

Z= valor de la variable normal estandarizada correspondiente a la confiabilidad deseada.

El tamaño de muestra así elegido solo cumplirá con la confiabilidad pedida cuando el promedio sea estable, condición muy difícil de cumplir en el caso de poblaciones biológicas.

En la medida en que se conozca la función de distribución de probabilidad exacta que sigue la población (ejemplo: Poisson, binomial negativa, binomial, etc.) estas expresiones podrán modificarse a partir de la relación que para ellas existe entre la media y la varianza. Esta situación es muy favorable, pues nos permite variar el valor del promedio, y a partir de él calcular el n respectivo, cubriendo una amplia gama de densidades de población. El aspecto desventajoso es que habría que partir del proceso de ajustar los muestreos pilotos a las distintas distribuciones, proceso que en ocasiones no llega a resultados claros por no ajustarse a ninguna o al contrario, hacerlo a varias distribuciones probabilísticas teóricas.

En este momento, la ley de Taylor ofrece un gran aporte, pues como cita Ruesink (1980) el tamaño de muestra n puede expresarse en términos de sus coeficientes:

Tabla 7. Tamaño de muestra para promedios con diferentes expresiones de precisión cuando se conocen los coeficientes de la Ley de Taylor.

Tamaño de Muestra	PRECISION		
	Coeficiente de variación C	Intervalo de confianza	
		% Media D	Valor Fijo H
n	$\frac{a M^{(b-1)}}{C^2}$	$\frac{a M^{(b-2)} Z^2}{D^2}$	$\frac{a M^b Z^2}{H^2}$

Z= Valor de la variable normal estandarizada correspondiente a la confiabilidad deseada.

Ejemplo: Con fines comparativos, examinemos las fórmulas anteriores a través de datos obtenidos en el Programa de Entomología de Frijol de CIAT.

Se desea conocer el tamaño de muestra necesario para estimar el promedio de pupas de mosca blanca (*Bemisia tabaci Gennadius*) por hoja de frijol. De una evaluación previa se conoce que para

la época, el promedio es aproximadamente 6 pupas/hoja, con un valor de 5.2 de desviación standard. También se determinó, gracias a varios muestreos previos, que para esta especie, con este método de muestreo, la ley de Taylor tiene la siguiente expresión:

$$S^2 = 1.M^{1.3658} \text{ o sea } a = 1 \quad b = 1.3658 (**)$$

(**) significativamente mayor que 1 ($P < 0.05$)

y en consecuencia, al evaluar las expresiones de las tablas 6 y 7 encontramos lo siguiente:

Tabla 8. Tamaño de muestra para la estimación de densidad de *Bemisia tabaci*

Método	PRECISION		
	Coeficiente de variación C=0.1	Intervalo de confianza	
		% Media D=0.15 (90%)	Valor Fijo H=1(90%)
Caso general	76	91	74
Conociendo los coeficientes de Ley de Taylor	20	39	32

Es notoria la ventaja suministrada por el conocimiento de los coeficientes de Taylor, no solo por la reducción del tamaño de muestra, sino por poder describir en una forma más completa el proceso que se cumple en la población del insecto, es decir, que una vez se encuentre uno de ellos, lo más probable es encontrar varios en su vecindad.

Las relaciones anteriores permiten apreciar que aquellas poblaciones con patrones de distribución espacial más agregadas, requieren tamaño de muestra mayores, y que en los casos de altas densidades, con niveles de precisión constantes, el tamaño de muestra es menor. Debido a que los coeficientes de la ley de Taylor han sido estimados a partir de varias muestras, se deduce que la relación manifestada por ellos es válida en diferentes circunstancias y permite predecir en cierta forma el comportamiento de la varianza a diferentes niveles de población.

6.4.2. Estimación de proporciones

Es frecuente que la necesidad de estimación está en términos de una proporción más que de un promedio. En tal caso, definimos **Q** como el complemento de la proporción, es decir, $Q=1- P$ y conservando los criterios definidos para **C**, **D** y **H** tendremos los valores de **n** necesarios para estimar las proporciones.

Tabla 9. Tamaño de muestra para diferentes expresiones de precisión (proporciones)

Tamaño de Muestra	PRECISION		
	Coeficiente de variación C	Intervalo de confianza	
		% Media D	Valor Fijo H
n	$\frac{Q^2}{PC^2}$	$\frac{Z^2Q}{D^2P}$	$\frac{Z^2PQ}{H^2}$

Z= valor de la variable normal estandarizada correspondiente a la confiabilidad deseada.

Ej. Se desea estimar el porcentaje de plantas atacadas por sogata. Se cree que no debe superar el 20%

a: Para C=15%
$$n_1 = \frac{0.8}{0.2 * 0.15^2} \approx 178 \text{ plantas}$$

b: Para D=20% Z=1.96
$$n_2 = \frac{1.96^2 * 0.8}{0.2^2 * 0.2} \approx 385 \text{ plantas}$$

c: Para H=0.05 Z=1.96
$$n_3 = \frac{1.96^2 * 0.2 * 0.8}{0.05^2} \approx 246 \text{ plantas}$$

6.5. El método de muestreo

Consiste en la definición del proceso de cómo serán tomadas las muestras. Algunos de ellos son:

6.5.1. Muestreo aleatorio simple

Cada elemento tiene igual probabilidad de ser elegido. Es muy útil en estos casos utilizar una tabla de números aleatorios para seleccionar la muestra.

6.5.2. Muestreo aleatorio por etapas

En las primeras etapas la unidad de muestreo no es la unidad de medida. Ejemplo: Se desea estimar el número de granos por vaina de frijol. En la primera etapa se eligen las plantas al azar y en cada planta se eligen al azar, nuevamente, las vainas o unidades de muestreo.

6.5.3. Muestreo aleatorio por estratos

Las unidades muestrales se agrupan en estratos antes de que se seleccione la muestra. Este esquema es muy útil cuando hay gran variación entre las unidades muestrales, y ellas pueden distribuirse en grupos más o menos homogéneos. De cada estrato se toma una muestra. Ejemplo:

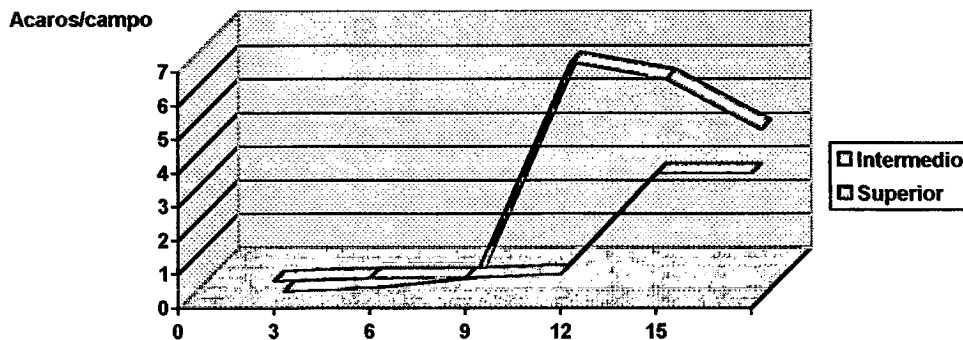


Figura 6. Distribución de espacio-temporal de ácaros en crisantemo sin protección química (promedio de 8 variedades). Campo: 1.6 cm²/hoja.

Para determinar pautas de muestreo y criterios de decisión para el manejo del ácaro *Tetranychus urticae* Koch en el cultivo de crisantemo, García (1984), estudió las características morfológicas, aspectos de muestreo, la distribución espacio-temporal y la incidencia del ácaro en plantas con y sin protección química. De sus resultados, podemos apreciar en la Fig. 6 la altísima preferencia del ácaro por las hojas superiores en casi todas las épocas tanto en las plantas protegidas como en las no protegidas.

6.5.4. Muestreo Sistemático

En él, el número de unidades muestrales a elegir, n , induce una división de n subgrupos de tamaño s . Se elige un número al azar entre 1 y s . De cada grupo se muestrea el individuo s . En el campo equivale a hacer recorridos en forma de M, X, W o de // . Ha mostrado gran utilidad en programas de MIP

6.6. Toma de la muestra

Para quienes están acostumbrados a hacer muestreos no es desconocido el hecho de que diversas técnicas para tomar muestras pueden conducir a diferentes resultados, y es frecuente que las técnicas más adecuadas por su precisión pueden tener dificultades en ser adoptadas. Para la solución de este problema se sugiere hacer una estimación de la capacidad de estas técnicas para evaluar la variable de análisis y de esta manera poder definir factores de corrección o calibración para ellas.

Ejemplo: Perfect y Cook (1983) reportan conteos con un método absoluto y comparan los resultados logrados utilizando D-Vac, obteniendo para éste factores de corrección, aplicables a *Sogatella furcifera* en arroz, variedades IR20 e IR36 en Los Baños, Filipinas.

Tabla 10. Factores de corrección para ajustar conteos de muestras obtenidos con D-vac, para estimar el tamaño absoluto de las poblaciones.

Especie/estado	Factor de corrección	R ²	n
<i>Sogatella furcifera</i>			
Machos	1.06	0.97	64
Hembras	1.24	0.97	64
Ninfas I	1.13	0.95	58
Ninfas II	1.40	0.81	59
Ninfas III	1.44	0.89	55
Ninfas IV	1.52	0.89	55
Ninfas V	1.64	0.89	53

Los anteriores factores de corrección fueron calculados con una ecuación del tipo: Valores absolutos = factor de corrección * Valores de población obtenidos con D-Vac.

7. MUESTREO SECUENCIAL

El hecho de conocer una relación entre la varianza y la media, nos permite tomar ventaja en los problemas de muestreo, para crear esquemas más ágiles donde el tamaño de muestra no es fijo, si no que se determina sobre la marcha, dependiendo de las características de la población bajo estudio. Este esquema es llamado **Muestreo Secuencial**.

El muestreo secuencial es un proceso en el cual, el tamaño de la muestra es definido como una variable determinada, a partir de un proceso continuo de retroalimentación, con la información obtenida hasta el momento. Bajo este tipo de muestreo se reconocen las variantes:

7.1. Clasificación de la población con respecto a valores críticos: Promedios o Proporciones

Este es el caso de cultivos comerciales en donde no se pretende conocer exactamente el nivel de la población problema, sino calificar su importancia. La situación tiene las siguientes posibilidades:

1. El problema es tan leve que es preferible tolerarlo en términos económicos.
2. El problema excede el nivel de tolerancia (M_0), por lo tanto es necesario aplicar una medida correctiva.

Es claro que si se realizara un censo, este sería el conjunto de situaciones posibles, pero debido a que se trabaja con una muestra, resulta una nueva posibilidad:

3. No hay información suficiente para identificar en cual de los estados 1 ó 2 se encuentra el problema del cultivo.

Para responder a esta necesidad se precisa conocimiento sobre el nivel de daño económico y sobre el nivel de acción (Onstad, 1987) asociados con la plaga, en el ambiente específico de interés.

Si estos niveles de daño y/o acción están determinados como promedios se tiene la siguiente situación:

En términos del patrón de disposición espacial, debe conocerse la relación $m^* - M$ o sea los coeficientes α y β de la ley de Iwao: $m^* = \alpha + \beta M$.

Puede deducirse que los límites de confianza en torno al valor crítico M_0 , en términos del total de individuos en las N muestras serán determinados de la siguiente forma: (Iwao, 1975)

$$\text{Límites} = NM_0 \pm t \sqrt{N[(\alpha+1)M_0 + (\beta-1)M_0^2]}$$

variando el valor de N podemos obtener una gráfica o tabla que resuma el plan de muestreo. Las unidades muestrales se toman al azar, de la población, y son examinadas secuencialmente. El muestreo termina cuando el número acumulado de individuos caiga fuera de las líneas que marcan los Límites de confianza. Valores mayores que el límite superior implican que se ha superado el nivel crítico M, y valores inferiores al límite inferior, señalan valores menores a M_0 .

En el caso de que el número acumulado de individuos está entre los límites definidos se exige continuar con el muestreo hasta llegar a una de las dos zonas definidas anteriormente o hasta llegar a un tamaño máximo de muestra.

$$N \text{ máximo} = Z^2 * \frac{[(\alpha+1)M_0 + (\beta-1)M_0^2]}{D^2}$$

Para obtener los límites de confianza se usa una aproximación normal, lo cual no es exacto, pero en términos prácticos las diferencias son muy pequeñas, y están en el sentido de hacer más amplia la zona intermedia o sea que dan más seguridad en las decisiones.

Ejemplo :Tomando como unidad de muestreo 10 pases de jama, se logró determinar los parámetros de la ley de Iwao para sogata en campos comerciales de arroz en época vegetativa en Jamundi-Colombia

$$m^* = -8.27 + 2.05 M \quad R^2 = 0.836$$

Se señala que 200 individuos en esta unidad de muestreo causan daño económico, por lo tanto se tomará como umbral de acción 180 insectos (M_0). (Weber, 1989) Para una confiabilidad del 95% tenemos

$$\text{Límites: } 180 N \pm 1.96 \sqrt{N(-7.27 * 180 + 1.05 * 180^2)}$$

$$\text{Límite inferior: } 180 N - 354.49 \sqrt{N}$$

$$\text{Límite superior: } 180 N + 354.49 \sqrt{N}$$

lo cual plantea el esquema de la tabla 11.

Tabla 11. Plan de muestreo secuencial para clasificación del ataque de sogata.

RECUENTOS ACUMULADOS				
Número de muestras		Límite inferior	Límite superior	
6	S	211	1949	
8	I	437	2443	
10	N	679	2921	C
12		932	3388	O
14	C	1193	3847	N
16	O	1462	4298	T
18	N	1736	4744	R
20	T	2014	5186	O
.	R	.	.	L
.	O	.	.	
.	L	.	.	

En el caso de requerirse la clasificación de una población en términos de una proporción tendremos los siguientes límites:

$$L_i = \frac{t^2_{\alpha} p(1-p)}{(p-T)^2}$$

$$L_s = \frac{t^2_{\beta} p(1-p)}{(p-T)^2}$$

α : probabilidad de aplicar un tratamiento cuando el umbral de acción, T, ya ha sido excedido (conservador) Error tipo I.

β : probabilidad de no aplicar un tratamiento cuando el umbral de acción, T, ya ha sido excedido (grave) Error tipo II.

L i: tamaño de muestra requerido para estimar, que proporción de infestación (p) está bajo el umbral de acción (T)- límite inferior

L s: tamaño de muestra requerido para estimar con un error P, que la proporción de infestación está sobre el umbral de acción (T) - límite superior.

P = Número de individuos con "presencia" en las n muestras.
(Wilson et al. 1983b)

Ejemplo:

Muestreo secuencial del daño causado por *Diatraea saccharalis* en caña de azúcar (Gómez et al. 1987) en cultivos del Valle del Cauca, Colombia

Objetivo: catalogar al momento de la cosecha los campos comerciales con base en el grado de ataque del insecto.

Variable de clasificación: Porcentaje de cañas afectadas.

Niveles de confianza:

Probabilidad de cometer un error tipo I: $\alpha = 0.2$
(Concluir que el campo está afectado cuando en realidad no lo está).

Probabilidad de cometer un error tipo II: $\beta = 0.1$
Considerar un campo sano cuando está atacado

T: umbral de acción: 50% de ataque.

Los resultados pueden apreciarse en las Tablas 12 y 13.

7.2. Estimación de Niveles de población

7.2.1. Modelo de Kuno

En este caso, el criterio para juzgar si se continúa con el muestreo o no, está dado por el logro del nivel de precisión estipulado para la estimación del promedio de la población. En este enfoque, el requisito básico es que la varianza pueda considerarse como una función de la media (M) donde:

D= máximo error permisible expresado como un porcentaje de la media,
d= error estándar= D. M

Tn= Total acumulado en las n muestras, **POR LO TANTO** $M = Tn / n$

Según Kuno (1969):

En la expresión anterior, encontramos que el número de muestras (n) que produce un **acumulado** de valor Tn cumple con la precisión deseada y en consecuencia, puede suspenderse el muestreo.

$$Tn = \frac{\alpha + 1}{D^2 - \frac{(\beta - 1)}{n}}$$

En la expresión anterior, encontramos que el número de muestras (n) que produce un acumulado del valor Tn cumple con la precisión deseada y en consecuencia, puede suspenderse el muestreo.

Tabla 12. Límites críticos para decidir acerca del estado entomológico de un campo de caña, a través del muestreo secuencial del porcentaje de infestación.

No. de cañas muestreadas	No. de cañas dañadas	
	Límite inferior ¹⁾	Límite superior ²⁾
8	-	8
9	-	8
10	0	9
11	0	9
12	1	10
13	1	10
14	1	11
15	2	11
16	3	12
17	3	13
18	4	13
19	4	14
20	5	14
	.	.
	.	.

1. Número igual o menor de cañas afectadas de la muestra para concluir que el campo está sano.
2. Número igual o menor de cañas afectadas de la muestra para concluir que el campo está afectado.

7.2.2. Modelo de Green

Un enfoque paralelo al estudiado por Kuno (1969) basado en la relación $m' - M$ de Iwao, fue propuesto por Green (1970) con base en la ley de Taylor.

$$\ln(T_n) = A + B$$

$$A = \ln \frac{D^2}{a} * \frac{1}{(b-2)} ; \quad B = \frac{b-1}{b-2} * \ln(n)$$

El muestreo termina cuando el número acumulado de individuos T_n , en las n muestras permite la igualdad.

Estudios de simulación realizados sobre los esquemas de Kuno y de Green, revelan la necesidad de validar los planes antes de su implementación en el campo con el propósito de ajustar los niveles de precisión en casos de poblaciones bajas, medias o altas (Hutchinson, et al. 1988).

Ejemplo: *Rupela* es un insecto presente en los campos de arroz sobre el cual se ha presentado intensa controversia en términos de su calificación como plaga. Por tal razón se da seguimiento a las poblaciones de *Rupela* al igual que sobre otros insectos plaga del mismo hábitat. Una unidad muestral para *Rupela* es 50 pases dobles de jama. Con la información obtenida, se ajustaron los siguientes modelos:

Modelo de Taylor

$$\ln(S^2) = 0.5802 + 1.47409 \ln(M) \quad R^2 = 0.91$$

Modelo de Iwao:

$$M^* = 0.83773 + 1.42813 M \quad R^2 = 0.90$$

Con estos coeficientes se hizo la primera aproximación de un plan de muestreo, siguiendo los esquemas de Kuno y Green respectivamente, los cuales aparecen resumidos en las Tablas 14 y 15.

7.3. Modelo secuencial para la estimación de porcentajes

En casos donde el patrón de disposición es regular, o sea la distribución de frecuencias es binomial, se puede demostrar que $\alpha=\beta=0$ por lo tanto, si el interés es muestrear una población para encontrar el porcentaje de individuos que presenten una característica dada.

El muestreo continuaría hasta que el número de individuos con respuesta positiva (T_n) cumpla:

$$T_n = \frac{1}{D^2 + \frac{1}{n}}$$

En estos esquemas de muestreo se ha demostrado la existencia de sesgo positivo que lleva a la sobreestimación de poblaciones en una magnitud siempre inferior a D (máximo error permisible) (Kuno, 1972), lo cual con fines prácticos generalmente es tolerable. Para el caso de porcentajes se recomienda no aplicar el método si P está cerca de 1, y recurrir a un plan de muestreo inverso.

8. EL USO DE INCIDENCIA PARA LA ESTIMACIÓN DE DENSIDADES

Estos programas de muestreo ofrecen una alternativa a aquellos planes enumerativos donde hay que hacer conteos difíciles. Bajo un muestreo binomial o de presencia-ausencia, en cada unidad muestral se examina la presencia de uno o más individuos sin **importar cuantos de esos individuos hay**. Se define como "incidencia " al porcentaje de unidades muestrales que poseen la característica de interés. A partir de la relación entre la proporción de unidades muestrales infestadas y densidad de la población, puede deducirse la clasificación del ambiente o la estimación de la población. Este método, que requiere una cuidadosa estimación de sus parámetros, ofrece como recompensa un considerable ahorro de tiempo, debido al esquema secuencial por una parte, y a la relación entre población y porcentaje de infestación. Se reconocen varios modelos de este estilo de muestreo.

8.1. Modelo de Wilson y Room

Wilson y Room (1983) parten de la relación

$$P(l) = 1 - \exp \frac{-M \ln(a M^{b-1})}{a M^{b-1} - 1}$$

donde a y b son intercepto y pendiente de la ley de Taylor y P (1) es la: proporción de infestación. De esta relación, estimando el valor de P(l) de la muestra, puede encontrarse el valor de M asociado.

Tabla 13. Evaluación de algunos campos del Ingenio Providencia para comparación de tres métodos de muestreo del daño causado por *Diatraea*.

	20 cañas rajadas/ha		20 cañas sin rajar/ha			Método secuencial		
	No. cañas	1.1.	No. cañas	Tiempo	1.1	No. cañas	Tiempo	Estado
Providencia	57	0.8	40	50	0.95	2.1	22	Sano
Providencia	48	0.4	45	42	0.50	38	38	Sano
La Merced	88	4.2	84	100	1.35	25	20	Dañado
La Merced	111	5.7	120	120	2.20	29	27	Dañado
Casablanca	116	2.5	140	132	2.80	40	50	Sano
Providencia	70	0.9	70	60	0.40	25	40	Sano
La María	115	0.3	110	120	0.50	26	36	Sano
Promedio	86.4	2.1	87.0	89.1	1.24	29.1	33.3	

Tabla 14. Plan de muestreo secuencial para rupela según modelo de Iwao

ÉPOCA = VEGETATIVA					ALFA 0.83773 BETA 1.42813	
N DE MUESTRAS	ACUM (MEP: 0.20)	PROM (MEP: 0.20)	ACUM (MEP: 0.25)	PROM (MEP: 0.25)		
8				205		25.6250
9				123		13.6667
10				93		9.3000
11		154.818		78		7.0909
12	425	35.417		69		5.7500
13	280	20.000		62		4.7692
14	195	13.929		58		4.1429
15	160	10.667		54		3.6000
16	139	8.688		51		3.1875
17	124	7.294		49		2.8824
18	113	6.278		47		2.6111
19	105	5.526		46		2.4211
20	99	4.950		45		2.2500
21	94	4.476		44		2.0952
22	89	4.045		43		1.9545
23	86	3.739		42		1.8261
24	83	3.458		41		1.7083

Tabla 15. Plan de muestreo secuencial para rupela según modelo de Green.

ÉPOCA VEGETATIVA A 0.58052 B = 1.47409

N DE MUESTRAS	ACUM (MEP: 0.20)	PROM (MEP: 0.20)	ACUM (MEP: 0.25)	PROM (MEP: 0.)
5	38	7.60000	16	3.20000
6	32	5.33333	14	2.33333
7	28	4.00000	12	1.71429
8	25	3.12500	11	1.37500
9	22	2.44444	10	1.11111
10	20	2.00000	9	0.90000
11	19	1.72727	8	0.72727
12	17	1.41667	7	0.58333
13	16	1.23077	7	0.53846

14	15	1.07143	6	0.42857
15	14	0.93333	6	0.40000
16	13	0.81250	6	0.37500
17	13	0.76471	5	0.29412
18	12	0.66667	5	0.27778
19	11	0.57895	5	0.26316
20	11	0.55000	5	0.25000

8.2. Modelo Probit

Otro modelo que relaciona incidencia y densidad es el Modelo Probit, expresado como $\log(M) = a + b \text{probit}(P)$, donde \log = logaritmo en base 10, M = densidad media y P = proporción de unidades muestrales infestadas (incidencia). P puede determinarse secuencialmente o con un tamaño de muestra fijo, bajo la exigencia de que el error estándar no exceda una fracción D de P .

El tamaño fijo de muestra sería:

$$n \geq \frac{b^2 P (1-P) 5.30}{(DZ)^2}$$

donde $5.30 = (\ln 10)^2$ y D máximo error permisible como una fracción de P . (Ward et al, 1985).

8.3. Modelo de Nachman Gerrard y Chiang

La relación entre incidencia y densidad tiene la expresión:

$$\log(M) = a + b \log[\ln Q^{-1}]$$

donde \log = logaritmo en base 10, \ln logaritmo natural, M = densidad media, P = proporción de incidencia y $Q = 1 - P$

Según (Ward et al, 1985) bajo el mismo criterio de precisión, el tamaño de muestra fijo, n , sería:

$$n \geq \frac{b^2 P}{D^2 (\ln Q)^2 Q}$$

Gerrard y Chiang (1970) formularon un modelo equivalente al de Nachman. La diferencia está en que ellos al plantear su modelo no usan logaritmos decimales.

$$M = Y [-\ln(Q-1)]^c$$

o su equivalente lineal

$$\ln(M) = C - D \ln[-\ln(Q-1)]^c$$

Al comparar los tres modelos descritos Ekborn (1987) señala que para valores altos de P ($P > 0.8$) el modelo probit sobreestima las densidades. Igual límite para P es recomendado por Gerrard & Chiang (1970) y por Duke & Lampert (1987).

En general se señala que para una proporción dada, las estimaciones de modelo caen en los límites de confianza de los otros dos.

9. COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE MUESTREO

Un problema de decisión existe si hay varias alternativas para la satisfacción de una necesidad. El principio de solución establece que deben plantearse indicadores de eficiencia objetivos, que definan un gradiente del desempeño de estas posibilidades. La selección de un método de muestreo no es ajena a este proceso y se recomienda tener en cuenta los siguientes criterios:

9.1. Coeficiente de variación

Donde S: desviación estándar y M: Promedio

Da una indicación de cuanta es la variabilidad por cada unidad del promedio. Los mejores métodos ofrecerán valores mis bajos.

Si hay diferentes épocas de muestreo se recomienda hacer un cálculo para cada una de ellas y uno global. Adicionalmente si las varianzas entre épocas no son homogéneas puede ser conveniente trabajar con datos transformados para lograr comparaciones más justas. Si los valores obtenidos están distribuidos en un amplio rango, frecuentemente la transformación logarítmica produce buenos resultados. Si por el contrario, se trata de un proceso de baja frecuencia, (con valores bajos), la raíz cuadrada de ellos permitirá corregir los problemas. Mayse et al. (1978)

9.2. Variación relativa

A partir del coeficiente anterior se sugiere incluir el tamaño de la muestra (n), ya que una muestra más grande debe compensar con menor variabilidad.

Incluir este criterio nos lleva a la expresión:

$$VR = \frac{S}{M \sqrt{n}}$$

Se recomienda aceptar planes con un valor ≤ 10 para este indicador.

9.3. Precisión relativa neta

Disminuir la variabilidad de un método puede implicar más muestras incrementando así el tiempo y los costos de muestreo. Por lo tanto, será más eficiente el método que por cada **unidad de tiempo** reduzca en mayor grado su variabilidad. Usualmente esta unidad de tiempo se toma en horas.

$$PRN = \frac{1}{C * VR}$$

9.4. Análisis de varianza

Cuando se desea evaluar los métodos en términos del número de individuos capturados por los diferentes métodos, o sea la habilidad de detección, puede recurrirse a un ANOVA y al subsecuente proceso de separación de medias cuando se encuentren diferencias significativas. Nuevamente se recomienda validar el supuesto de homogeneidad de varianza y hacer transformaciones estabilizadoras si son requeridas.

10. BIBLIOGRAFIA

1. Altieri, M.A., Van Schoonhoven A., and Doll, J.D. 1977. The ecological role of weeds in insect pest management systems: a review illustrated by bean (*Phaseolus vulgaris*) cropping system. PAN S 23(2):195-205
2. Barrientos, A. 1986. Fluctuaciones de *Aeneolamia varia* en pasturas de *Brachiaria decumbens*. Pasturas tropicales - Boletín 8:2 pp 9-12.2.

3. Bechinski, E.J.; Pedigo, L.P. 1981. Population dispersion and development of sampling plans for *Orius insidiosus* and *Nabis* spp. in soybean environmental entomology. Vol. 1 pp 956-959.
4. Binns M. R. y J. P. Nyrop (1992) Sampling insects populations for the purpose of IPM decision making. Annu. Rev Entomol. 37:427-453.
5. Boots B. N y A. Getis. 1988 Point Pattern Analysis. Sage University paper series of scientific geography. Vol 81 ed Sage Publications California
6. Coggin, D. L and G. P. Dively (1982). Sequential sampling plan for the Armyworm in Maryland small grains. Environ Entomol 11: 169-172.
7. Duke, M. E., & E. P. Lampert (1987). Sampling procedures for tobacco Flea Beetles (coleoptera: chrysomelidae) in flue-cured Tobacco
8. Duque, M.C. (1988). Disposición espacial y muestreo de artrópodos. Miscelánea. Sociedad Colombiana de Entomología. No. 11:30-41.
9. Ekbohm, B.S. (1987). Incidence counts for estimating densities of *Rhopalosiphum padi* (Homoptera: aphididae). J. Econ. Entomol 80:933-935
10. Foster, R. E.; Tallefson, J.J.; Steffey, K.L. 1982. Sequential sampling plans for adult corn root worms (Coleoptera: chrysomelidae) J. Econ Entomol 75 pp 791-793.
11. Garcia, R.J.H. 1984. Comportamiento de las poblaciones de *Tetranychus urticae* Koch (Acari:Tetranychidae) en crisantemo (*Crysanthemum morifolium*). Tesis de grado, Universidad del Valle. Colombia
12. Gómez, L.A., y C.A. Moreno (1987). Muestreo secuencial del daflo causado por *Diatraea Saccharalis* en calla de azocar. Memorias del 2o. congreso de la catia de azocar, Cali. pp: 271-283
13. George, D. G. (1974). Dispersion patterns in the zooplankton populations of a eutrophic reservoir. J. Anim. Ecol 43(2): 537-551
14. Green, R. H. (1970). On fixed precision level sequential sampling. Res. Popul. Ecol. 12: 249-251
15. Higashiura, Yasutomo (1987) Larval densities and a life-table for the gypsy moth *Limantria dispar*, estimated using the head capsule collection method.
16. Ecological Entomology 12, 25-30
17. Hutchinson, W.D., D.B. Hogg, M.A. Poswal, R.C. Berberet and S.W. Cuperus (1988). Implications of the stochastic nature of Kuno's and Green's fixed precision stop lines: sampling plans for the Pea aphid (Homoptera: Aphididae) in Alfalfa as an example. J. Econ. Entomol 81(3): 749-758
18. Iwao, S (1968). A new regression method for analyzing the aggregation pattern in animal populations. Res. Popul. Ecol 10: 1-20
19. Iwao, S (1975). A new method of sequential sampling to classify populations relative to a critical density. Res Population Ecol. 16: 281-288

20. Karandinos, M. 1976. Optimum sample size and comments on some published formulae. Bulletin of the Entomological Society of America. Vol. 22 No. 4 pp 417-421.
21. Kuno, E. 1969. A new method of sequential sampling to obtain the population estimates with a fixed level of precision. Res popul Ecol Xi pp 127-136.
22. Kuno, E. 1972. Some notes on population estimation by sequential sampling. Res. Popul ecol. 14 pp 58-73.
23. Kuno, E. 1991 Sampling and analysis of insects populations. Annu Rev Entomolo 36:285:304.
24. Liebhold A. M. y J. S. Elkinton (1988) Techniques por estimating the density of lateinstar *Gypsymoth*, *Lymantria dispar* (Lepidoptera:lymantriidae) populations using frass drop and frass production measurements. Environ. Entomol 17:2 381-384
25. Lower, R. L. 1972. Effect surrounding cultivar when screening cucumber for resistance to cucumber beetle and pickleworm. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 97, 616-618.
26. Mayse M. A., M Kogan y P. W. Price 1978. Sampling abundances of soybean arthropods: comparison of methods J Econ Entomol 71:1 135-141
27. Mc. Cormick A., G. Z de Vargas, M. Rozo, 1974. Investigación sobre residuos de plaguicidas en productos agrícolas. I. I.T. Revista del Instituto de Investigaciones Tecnológicas No. 87
28. Mejía M. L. R. 1995. Desarrollo agrícola sostenible: Alternativa para la producción de alimentos conservando el ambiente. Servicio de Extensión Agrícola del Colegio de Ciencias Agrícolas Recinto de Mayagüez Universidad de Puerto Rico. (folleto)
29. Melamed-Madjar, V. , A. Navon y S. Tal 1984 Honeydew staining to evaluate survival of tobacco whitefly nymphs after insecticide application. Phytoparasitica 12(3.4): 157-161
30. Muñoz M. A. 1995 Política POblica del Dpto de Agricultura y el Desarrollo de una Agricultura Sostenible. Gobierno de Puerto Rico, Dpto de Agricultura, Oficina del Secretario. (folleto)
31. Nyrop, J. P. (1988) Sequential classification of prey/predatos ratios with applications to European Red Mite (Acari: Tetranychidae) and *Typlodromalus pyri* (Acari:Phytoseiidae) in New York apple orchards. Forum J. Econ Entomol 81: 14-21
32. Onstad, D.W. (1987) Calculation of economic-injury levels and economic thresholds for pest management. J. Econ. Entomol 80: 297-303
33. Perfect, T. J.; Cook, A. G. 1983. Population sampling for planthoppers, leafhoppers (Hemiptera: Delphacidae& cicadellidae) and their predators in flooded rice. Bull. Ent Res. 73 pp 345-355.
34. Rabinovich, J.E. 1980. Introducción a la ecología de poblaciones animales CECSA.
35. Reed William, J. 1 983. Confidence estimation of ecological aggregation indices based on counts. Rubust procedure. Biometrics 39 pp 987-998.

36. Reilly, J.J.; Sterling, W.L.. 1983. Dispersion Patterns of the Red Imported Fire Ant (Hymenoptera: Formicidae), Aphids, and some Predaceous Insects in East Texas cotton fields. *Environmental Entomology* Vol. 12 No. 2 pp 380-385.
37. Ruesink, W.G. 1980. Introduction to sampling in soybean entomology ed. por M. Kogan y D.C. Herzog. Springer Verlag. pp 61-103.
38. Southwood, T. R. E. (1978) *Ecological Methods with particular reference to the study of insect populations*. Chapman and Hall, London. 524pp.
39. Stanton, L.M. 1983. Spatial patterns in the plant community and their effect upon
40. insect search. In herbivorous insects. Ed. Academic Press. pp 125-157
41. Tonhasca A, J. Palumbo y D. N. Byrne 1994. Aggregation patterns of *Bemisia tabaci* in response to insecticide applications. *Entom exp & appl* 72:265:272
42. Taylor, L. R. (1984). Assessing and interpreting the spatial distributions of insects populations. *Ann. Rev. Entomol.* 29: 321-357
43. Ward, S.A., R. Rabbinge & W. P. Mantel (1985). The use of incidence counts for estimation of aphid populations 1. Minimum-sample size for require accuracy. *Neth. J. plant pathol.* 91: 93-89
44. Weber, G. (1989). *Desarrollo del manejo integrado de plagas del cultivo de arroz*.
45. Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT, Colombia. 69p.
46. Wilson L.T and P.M. Room (1983). Clumping patterns of fruit and arthropods in cotton with implications for binomial sampling. *Environ. Entomol.* 12: 50-54
47. Wilson L.T. C.Pickel, R.C. Mount & F.G. Zalom (1983 b). Presence-absence sequential sampling for cabbage aphid and Green peach aphid (Homoptera: Aphididae) on Brussels sprouts. *J. Econ. Entomol* 76: 476-479.

ANALISIS DE DATOS OBTENIDOS EN EVALUACIONES PERIODICAS MEDIANTE LA TECNICA DE "AREA BAJO LA CURVA DE PROGRESO"

Myriam Cristina Duque Echeverri
Unidad de Biometria
CIAT

1. RESUMEN

Copias Resumen

Cuando se pretende conocer detalladamente un proceso evolutivo, el registro periódico de los datos convierte la información obtenida, en relativamente grandes volúmenes de datos que pueden ofrecer dificultades de manejo e interpretación. Se busca presentar un enfoque analítico simple, el de AREA BAJO LA CURVA DE PROGRESO, el cual ayuda al investigador a comprender sus resultados y si es el caso, a comparar tratamientos por su comportamiento en el tiempo.

2. INTRODUCCION

En desarrollo de una investigación biológica, particularmente en el caso de disciplinas como la entomología, la fisiología, y la patología, dinámicas por naturaleza, es frecuente el hecho de reunir periódicamente información con el fin de conocer el proceso que se estudia.

Debido a la gran cantidad de factores que intervienen activamente en los fenómenos biológicos, es de esperarse que en cada fecha de evaluación se presenten valores, que si bien dependen parcialmente del nivel alcanzado anteriormente, pueden cambiar radicalmente como algo perfectamente natural y posible.

Cuando hay el interés de comparar varios procesos, este tipo de comportamiento puede llevar a conflictos, pues las conclusiones pueden cambiar o incluso ser contradictorias dependiendo del momento en el cual se realice la observación. Las comparaciones mencionadas pueden corresponder a materiales genéticos, a estrategias de protección, a épocas, a prácticas agronómicas, o a una variedad de elementos a considerar que llamaremos "tratamientos".

3. DESARROLLO DE EXPERIMENTOS

Ante estos posibles comportamientos -alta variabilidad-, se recomienda tener control sobre la mayoría de factores posibles, para estar seguros de que la información obtenida corresponde al objeto de estudio y no a la combinación simultánea de hechos que distorsionan la verdad.

Lo anterior sugiere que toda investigación debe contar con una fase previa de planificación, cuando deben formularse clara y definidamente: el tema del estudio, el alcance, el ambiente donde se va a conducir, la duración, los tratamientos a incluir, las variables a evaluar, los criterios de comparación entre tratamientos, los procesos de medición, el diseño experimental y el análisis de información asociado.

El control mencionado permitir la aplicación adecuada del Método Científico y en consecuencia, con cualquier resultado, llegar con la investigación a la adquisición de un nuevo conocimiento. El desarrollo de esquemas de control de calidad en cada fase del proyecto, permitir obtener datos con tanta pureza, que facilitar al investigador su interpretación y explicación, evitando el frecuente e inadecuado hecho de encargarle al analista de la información, la tarea de probar hipótesis y

buscar conclusiones con técnicas, que incluso resultan desproporcionadamente refinadas, si se considera la ligereza aplicada a la recolección de los datos.

Adultos de *E. Kraemeri*

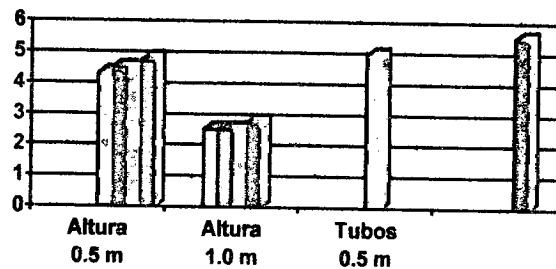


Figura 1. Comparación de métodos de muestreo para adultos de *Empoasca kraemeri* (Ross y Moore) en términos de orientación y altura de trampas. (Hernández, O., 1991)

En éste sentido se recomienda realizar algunas pruebas preliminares para identificar los puntos críticos, para adquirir destreza operativa, para determinar métodos y épocas de muestreo o evaluación y para definir las rutinas de trabajo.

En el caso de entomología, por ejemplo, conocer los hábitos de un artrópodo ayudará en la selección de la hora adecuada para la evaluación, lo mismo que saber cuáles son los sitios donde debe realizarse el muestreo según la distribución vertical, el tipo y manejo del implemento adecuado para tomar las muestras (fig. 1), etc. En ésta disciplina y en la patología, el patrón de disposición del organismo biológico evaluado influir en el tipo y tamaño de la muestra y en general, las variables meteorológicas son importantes para definir un ensayo (lluvia, viento, temperatura, humedad relativa, brillo solar, etc.).

4. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

El primer paso del análisis de información es verificar su validez: debemos estar en capacidad de detectar posibles errores en el registro o en la transcripción de los datos antes de pasar a fases avanzadas de análisis. Para ello las técnicas básicas del análisis de datos son imprescindibles. Ellas incluyen, según el caso, tablas de frecuencias, medidas de tendencia central, de dispersión, de simetría y una representación gráfica de los resultados, hasta ahora preliminares. Este tipo de representación además de su utilidad en términos de permitir una idea de lo que ocurrió en el plano biológico, frecuentemente constituye un buen control de inconsistencias, pues muchos de los errores en el registro de la información producen alteraciones que se detectan en esta fase.

Retomando el caso que nos ocupa, de evaluaciones periódicas, hay diferentes técnicas desarrolladas exhaustivamente en textos especializados pero hablaremos aquí de un enfoque analítico descriptivo y sencillo aplicable a este tipo de datos con especial flexibilidad: se trata del AREA BAJO LA CURVA DE PROGRESO.

5. CONCEPTOS BÁSICOS

Definiremos por CURVA DE PROGRESO, aquella que registra en el eje horizontal el tiempo y en el vertical el respectiva valor de las variables de respuesta: poblaciones de insectos, de plantas afectadas, área foliar, altura, diámetro del tallo, porcentaje de mortalidad, etc., mostrando así el estado de cada tratamiento a través del tiempo, durante el ensayo.

Aunque en forma tradicional se ha usado este método cuando se trata de describir un comportamiento en el tiempo, es cierto que es aplicable al caso en el cual hay otra variable con sentido numérico que sirva de base para la evaluación, por ejemplo dosis, niveles de inóculo, etc.

Por AREA BAJO LA CURVA, entenderemos la referencia hecha al área comprendida entre el perfil de la curva de progreso y el eje horizontal (tiempo, dosis ...).

En sentido estricto, esta medida sería dada por la integral de la función que define la curva de progreso, pero, teniendo en cuenta que en algunas ocasiones no se conoce la ecuación de dicha función, utilizaremos una aproximación geométrica a este concepto (fig. 2)

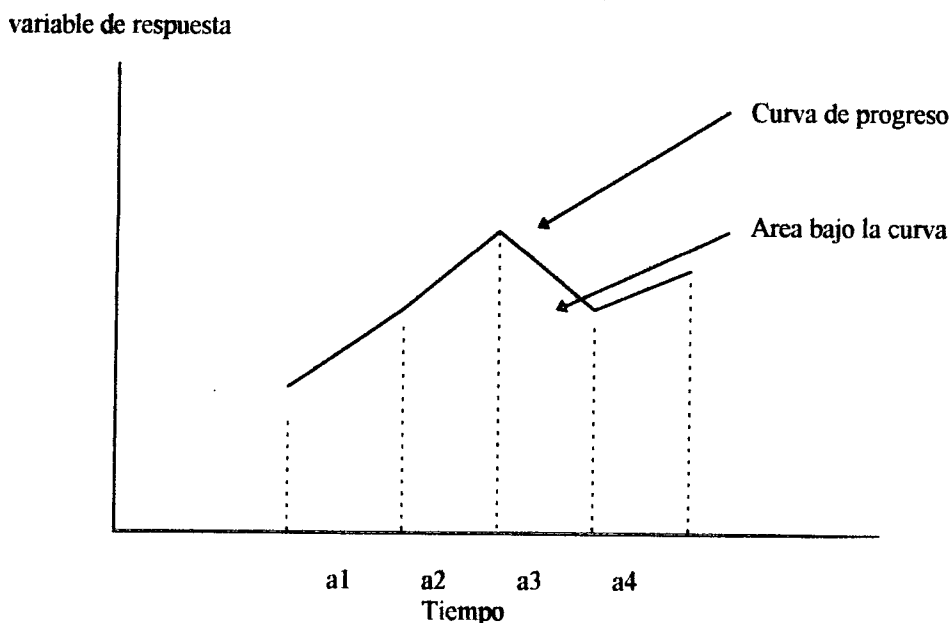


Figura 2. curva de progreso y área bajo la curva

Se parte del supuesto de que dos puntos sucesivos de la curva de progreso se unen por una línea recta. Este hecho, frecuentemente es aceptable y mejorará en la medida en que las evaluaciones sean cercanas en el tiempo (o la variable de referencia), pues los fragmentos de recta configurarían una mejor aproximación a la curva real.

Fácilmente se deduce que el área total es la suma de las "n-1" áreas parciales definidas por las "n" evaluaciones, cada una de las cuales puede calcularse de la manera siguiente :

$$area_i = 0.5 \cdot (y_i, y_{i+1}) (t_{i+1} - t_i)$$

donde y_i , y y_{i+1} son los valores observados de la variable de respuesta en los tiempos t_i , e, t_{i+1} respectivamente.

Esta fórmula corresponde a la expresión geométrica de área de un trapecio (fig. 3) El área bajo la curva debe calcularse para cada repetición y cada tratamiento separadamente.

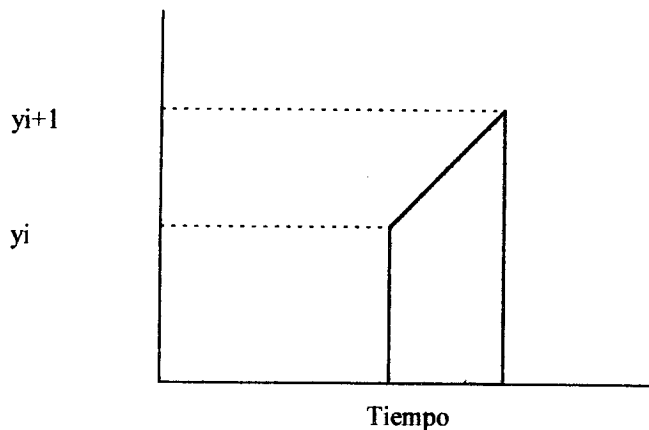


Figura 3. Area bajo la curva

A continuación se proceder a calcular los acumulados respectivos lo cual lleva a considerar que el valor obtenido final, es la historia resumida en un dato.

En estos términos debe hacerse un archivo de trabajo que contenga las siguientes variables :tratamiento, repetición, fecha (dosis o nivel), valor de la variable de respuesta, Area y Area acumulada hasta esa evaluación. A continuación se elaboran las estadísticas descriptivas para tratamiento y fecha (dosis o nivel) del Area acumulada hasta el tiempo final.

Una gráfica con la evolución del Area acumulada suministra mucha información sobre el ensayo, y el valor alcanzado en la Última evaluación permite la comparación entre los tratamientos, lo cual se analizará respetando el diseño experimental bajo cuyos lineamientos se hizo la prueba.

EJEMPLO

Con fines ilustrativos trataremos un problema motivo de investigación (Hernández A, 1991), el cual fue analizado con la técnica descrita.

En el desarrollo de su ciclo normal, el cultivo del frijol pasa por diferentes épocas críticas, entendiéndose por ello la fase de la planta en la cual es más sensible al ataque de una plaga y en la cual, de no haber protección, puede haber severos

EJEMPLO

Con fines ilustrativos trataremos un problema motivo de investigación (Hernández A, 1991), el cual fue analizado con la técnica descrita.

En el desarrollo de su ciclo normal, el cultivo del frijol pasa por diferentes épocas críticas, entendiéndose por ello la fase de la planta en la cual es más sensible al ataque de una plaga y en la cual, de no haber protección, puede haber severos problemas de producción. Por ésta razón, el conocimiento de las épocas críticas es vital para el diseño de estrategias de manejo de los cultivos, pero tiene que ser referida a cada agente atacante en forma separada.

El Empoasca kraemeri (Roos y Moore) es un insecto que ataca éste cultivo en todas sus fases desde el sur de USA hasta Sur América . El daño consiste en que las ninfas y adultos chupan la savia del envés de las hojas, yemas y peciolos, inyectando saliva tóxica que causa achaparramiento, distorsión, encrespamiento hacia abajo y embolsado de las hojas.

Para el estudio del problema, se estableció en el Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT, en su granja de Palmira a 1001 msnm. El siguiente ensayo sobre la variedad Bat 41.

Area del ensayo: 700 metros cuadrados
Distancia de siembra: 0.6 metros entre surcos y 0.1 metros entre plantas
Tratamientos:

1. Control de 30-70 días
2. Control de 0-30 y de 50-70 días
3. Control de 0-50 días
4. Control de 50-70 días
5. Control de 30-50 días
6. Control de 0-30 días
7. Sin control
8. Control de 0-70 días

Forma de control: Aplicaciones de monocrotofós: 2cc/lt de agua/semana
Muestreo de ninfas: cada 3 ó 4 días (10 trifolios por repetición)

A continuación algunos resultados obtenidos en este ensayo.

EVALUACION DE LA INCIDENCIA Y SEVERIDAD DEL AÑUBLO DE LA VAINA DEL ARROZ EN EL DEPARTAMENTO DEL TOLIMA

J. Roberto Jurado Narvaez
Edgar Martínez Granja
Programa Epidemiología Vegetal
CORPOICA

1. INTRODUCCION

El añublo de la vaina es una enfermedad ampliamente distribuida en todas las regiones arroceras del mundo. En Colombia, la incidencia es generalizada en los diferentes sistemas de producción y ha venido aumentando en la áreas arroceras colombianas, desde los años ochenta, adquiriendo gran importancia económica en las zonas productoras del Tolima, Sur del Cesar, Costa Atlántica y los Santanderes.

La enfermedad es causada por el hongo *Rhizoctonia solani*, que sobrevive en el suelo por medio de estructuras de resistencia conocidas como esclerocios, los cuales constituyen la fuente de inóculo inicial. Este patógeno ataca al cultivo de arroz durante las diferentes fases del periodo vegetativo y su crecimiento se favorece a 32°C de temperatura y 96% de humedad relativa. Cuando estas condiciones climáticas persisten, la enfermedad afecta severamente la hoja bandera (Albornoz, 1987; Aristizabal, 1993).

A pesar de que no hay estudios de evaluación de pérdidas, se estima que en Colombia el añublo de la vaina causa una reducción anual de 32.000 toneladas de arroz paddy, equivalente a cuatro mil millones de pesos (Montealegre, 1992). También se ha estimado que los rendimientos disminuyen 50% cuando no se hace control oportuno de la enfermedad (Albornoz, 1987).

Para controlar el añublo se utilizan fungicidas químicos, los cuales se aplican de acuerdo al criterio del asistente técnico o del agricultor, que en ningún momento se cifien al conocimiento de la dinámica de la enfermedad en el campo, lo cual conlleva incrementos en los costos de producción y en la contaminación ambiental.

Diferentes investigadores han estudiado la enfermedad bajo condiciones experimentales de campo e invernadero, utilizando generalmente parcelas experimentales (Aristizabal, 1993); sin embargo, es importante conocer la evolución de la epidemia en condiciones comerciales de cultivo. Por esta razón se proyectó la presente investigación en fincas de agricultores, con el fin de contribuir al conocimiento de la enfermedad y proponer alternativas sostenibles de manejo. Se estudió el tamaño de muestra, se compararon dos escalas de evaluación de severidad y se evaluó la importancia del control químico en el manejo del añublo de la vaina durante el periodo vegetativo del arroz.

2. MATERIALES Y METODOS

2.1 Tamaño de muestra

La investigación se inició en octubre de 1994 y se terminó en febrero de 1995. Se realizó en un lote comercial de 30 hectáreas de arroz, localizado en la meseta de Ibagué, vereda Perales, finca Tesorito, a una altura de 1.200 msnm, temperatura de 24 °C y una humedad relativa de 85%. En

el lote se delimitó una hectárea y en ella se hicieron evaluaciones cada veinte días, desde la germinación hasta la cosecha. La evaluación consistió en cuantificar la incidencia del añublo en el total de plantas y macollas por cada sitio correspondiente al área delimitada por un marco cuadrado de madera de 50 cm de lado. Se cuantificó la incidencia del añublo de la vaina, en cinco, diez, quince y veinte sitios escogidos al azar. En cada sitio se evaluó el número de plantas, plantas enfermas, macollas y macollas enfermas. Los datos obtenidos se analizaron estadísticamente utilizando el programa SAS.

2.2 Comparación de escalas para evaluar severidad

El estudio se llevó a cabo en la finca Pavo Real, vereda la Esperanza, municipio de Saldaña, departamento del Tolima, ubicada a una altura de 320 msnm, humedad relativa del 73%, temperatura promedio de 30 °C, y precipitación anual de 1350 mm. En un lote comercial de 15 hectáreas, se realizaron evaluaciones semanales desde la germinación hasta los 120 días después de germinado el cultivo. Se escogieron 20 sitios al azar, recorriendo el lote en forma de M o M invertida. En el área comprendida por un marco de madera de 50 cm de lado, se cuantificó el porcentaje de incidencia y severidad en plantas y macollas, para cada una de las escalas. Se utilizaron las escalas IRRÍ y la COLOMBIANA, tomando planta por planta y calificando de acuerdo a los grados correspondientes para cada escala. Para la escala Colombiana se dividió la planta en tres partes de 33% cada una: tallo bajo, tallo medio y tallo alto. Para el tallo bajo se tuvieron en cuenta las primeras hojas de la planta; la tercera y cuarta hoja para tallo medio; y para el tallo alto, la quinta y la hoja bandera.

2.3 Incidencia de la enfermedad en lotes no tratados y tratados con fungicidas

La investigación se llevó a cabo en la finca San Isidro, de la vereda El Salado, municipio de Ibagué, ubicada a 1.250 msnm, con temperatura promedio de 24°C y humedad relativa del 85%. Se escogieron tres lotes comerciales de 20 has cada uno, correspondientes a igual número de tratamientos. La evaluación de la incidencia del añublo se hizo dentro de una hectárea en cada lote, donde se evaluaron 20 sitios demarcados por un marco de madera de 50 cms de lado. El tratamiento 1 fue el fungicida monceren que se aplicó a los 25 días después de germinación (ddg); el tratamiento 2 fue Pro-Gro aplicado a los 75 ddg; y en el tratamiento 3, el testigo que no recibió ninguna aplicación de fungicida. Al finalizar la cosecha se recolectaron 400 macollas por tratamiento y en cada una se evaluó la incidencia externa e interna, el número y peso de granos llenos y vanos.

3. RESULTADOS Y DISCUSION

3.1. Tamaño de muestra

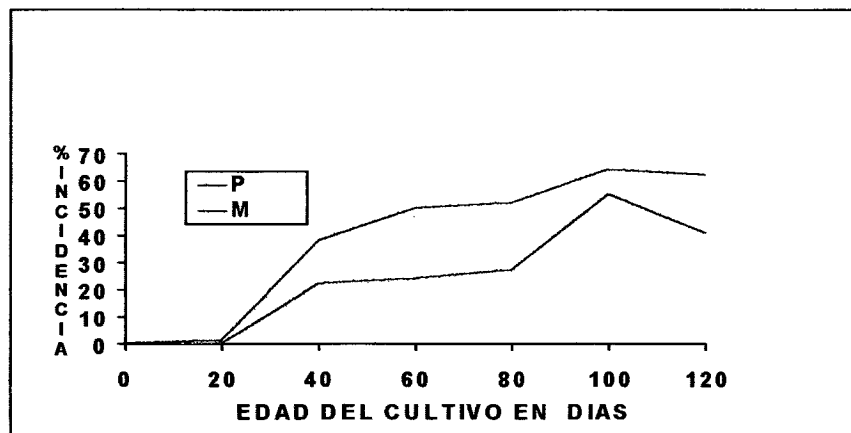
La enfermedad se observó por primera vez a los 40 ddg y su mayor incidencia la alcanzó a los 100 días ddg. En la fase de maduración, el añublo de la vaina disminuye en plantas y macollas, debido a que el patógeno se encuentra en condiciones desfavorables, porque se suspende el agua de riego y la planta comienza su secamiento fisiológico.

Cuando se evaluaron 20 sitios por ha, la incidencia fue del 38% y 22%, respectivamente, en plantas y macollas, a los 40 ddg. A los 100 ddg se alcanzaron niveles de incidencia de 64% en plantas y 55% en macollas (Gráfica 1, Gráfica 2). El análisis de los datos arrojó la ecuación (1)

$$Y = 0.006813 X \quad (1)$$

donde Y es la incidencia del añublo y X la edad del cultivo (Gráfica 2). Este modelo proporcionó el mas alto coeficiente de determinación (R^2) y el menor coeficiente de variación (CV) respecto a los otros tamaños de muestra estudiados (Tabla 1). Sin embargo, dependiendo de los objetivos y de la precisión que se busque con la evaluación de la enfermedad en campo, se podrá considerar la utilización de menor tamaño de muestra. Además, con los modelos obtenidos se podrá pronosticar la incidencia de la enfermedad durante el ciclo vegetativo del arroz.

Gráfica 1. Incidencia del añublo de la vaina del arroz en plantas (P) y macollas (M) en 20 sitios por hectárea.



Gráfica 2. Regresión de la Incidencia del añublo de la vaina del arroz en plantas (P) y macollas (M), en 20 sitios por hectárea, durante el ciclo vegetativo.

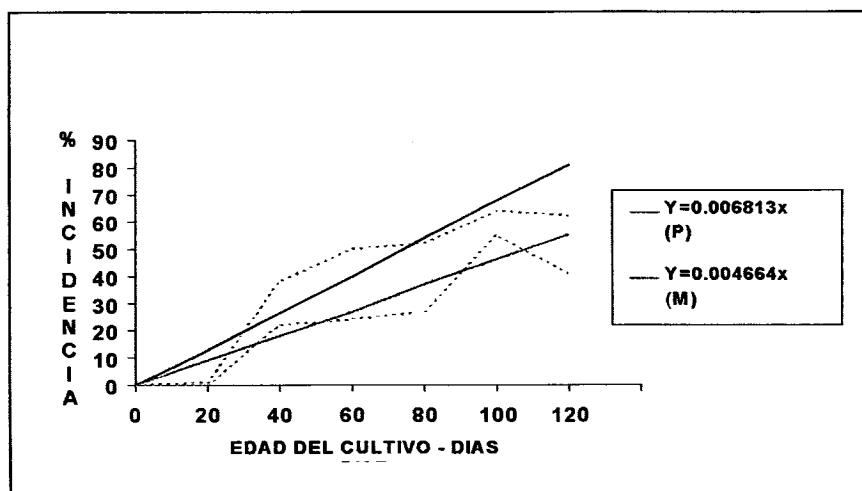


Tabla 1. Modelos de regresión de incidencia del añublo (Y) de la valna en plantas y macollas, respecto a la edad del cultivo de arroz (X), en 5, 10, 15 y 20 sitios por hectárea.

	Nº de sitios/ ha	MODELOS	R ²	C.V.
PLANTAS	5	Y= 0.007373 X	0.9367	31.27917
	10	Y= 0.006347 X	0.8955	39.71618
	15	Y= 0.007105 X	0.9494	27.44907
	20	Y= 0.006813 X	0.9620	23.63571
MACOLLAS	5	Y= 0.004238 X	0.8550	51.03086
	10	Y= 0.003796 X	0.8331	50.84665
	15	Y= 0.003318 X	0.8124	57.12630
	20	Y= 0.004664 X	0.9429	30.09580

3.2. Comparación de escalas para evaluar severidad.

La enfermedad se observó a los cuarenta días de edad con una incidencia de 3.5 %. La severidad fue del 2.84 % en la escala IRRI y del 0.17% en la escala Colombiana, correspondiendo al grado 1 en ambas escalas. A los 80 días de edad del cultivo, la severidad aumenta al grado 3 de la escala IRRI y se mantiene en el grado 1 en la escala Colombiana (Tabla 2).

La intensidad de la enfermedad fue menor en macollas respecto a plantas. A los 40 días se determinó una incidencia de 2.1 % y la severidad fue de 0.11%, según la escala IRRI, y de 0.02% para la escala Colombiana. A los 80 días la severidad permanece en el grado 1 de ambas escalas; solo a los 113 ddg aumenta al nivel 3 de la escala IRRI que equivale a 20.16%; pero en la escala Colombiana continua en el grado 1 con una severidad del 15.84 % (Tabla 3). Si se sigue la escala IRRI, habría necesidad de aplicar una medida de control químico, la cual no es recomendable cuando la enfermedad se cuantifica con la escala Colombiana. En los análisis estadísticos se encontraron diferencias altamente significativas al 1% entre las lecturas de las dos escalas y entre sus niveles de evaluación.

Tabla 2. Comparación del grado y porcentaje de severidad del añublo de la vaina en plantas de arroz, durante el período vegetativo del cultivo, según las escalas IRRI y Colombiana. Saldaña, Tolima, 1.995.

EDAD DEL CULTIVO DIAS	ESCALA UTILIZADA			
	IRRI		COLOMBIANA	
	GRADO	% SEVERIDAD	GRADO	% SEVERIDAD
0	0	0	0	0
15	0	0	0	0
22	0	0	0	0
29	0	0	0	0
36	1	0	0	0
43	1	2,84	1	0,17
50	1	5,7	1	0,54
57	1	9,08	1	0,73
64	1	14,48	1	1,23
71	1	19,02	1	1,7
78	1	20,4	1	3,3
85	3	22,4	1	8,6
92	3	23,8	2	13,1
99	3	23,6	2	18,2
106	5	31,42	3	25,0
113	5	38,25	4	30,7

Además, se obtuvieron modelos para pronosticar la severidad de la enfermedad a través del ciclo vegetativo del arroz, respectivamente para la escala IRRI (Ecuación 2) y para la escala colombiana (Ecuación 3):

$$Y = -10,5995 + 0,4208 X \quad (2)$$

$$Y = -10,9091 + 0,2988 X \quad (3)$$

donde Y es el porcentaje de severidad esperado y X es la edad del cultivo. Además se formuló un modelo de corrección (Ecuación 4)

$$Y = -3,1636 + 0,6968 X \quad (4)$$

donde Y es el porcentaje de severidad esperado en la escala Colombiana y X es el porcentaje de severidad determinado por la escala IRRI.

3.3. Incidencia de la enfermedad en lotes no tratados y tratados con fungicidas.

En la tabla 4 se presenta el porcentaje de incidencia inicial y final del añublo de la vaina del arroz obtenido en evaluaciones hechas en lotes no tratados y tratados con fungicidas. En términos generales, la incidencia aumenta a lo largo del período vegetativo del cultivo, en los tres tratamientos. No obstante, se observa disminución de la tendencia de la curva cuando se aplican los fungicidas; principalmente en el tratamiento 2 (Figura 3), que indica el efecto positivo de la temporalidad de la aplicación.

Los resultados obtenidos al evaluar la incidencia de la enfermedad, en macollas, por sus síntomas en tejidos externos e internos, indican que no hay diferencias estadísticas entre ellos (Tabla 5). Igualmente, no se encontraron diferencias entre tratamientos, respecto a la producción de granos de 400 macollas.

Tabla 3. Porcentaje de incidencia y de severidad del añublo de la vaina en macollas de arroz, durante el período vegetativo del cultivo, según las escalas IIRI y Colombiana. Saldaña, Tolima, 1.995.

EDAD DEL CULTIVO DIAS	% DE INCIDENCIA	ESCALA UTILIZADA	
		IIRI SEVERIDAD	COLOMBIANA SEVERIDAD
0	0	0	0
15	0	0	0
22	0	0	0
29	0	0	0
36	0	0	0
43	2,1	0,11	0,02
50	4,3	0,44	0,05
57	4,98	0,63	0,11
64	6,8	1,24	0,15
71	7,3	1,57	0,26
78	9,05	1,99	0,52
85	11,2	2,86	1,52
92	13,8	3,77	2,33
99	20,3	5,39	4,39
106	33	11,03	7,28
113	48,1	20,16	15,84

Tabla 4. Porcentaje de incidencia del añublo de la vaina en plantas y macollas de arroz en lotes no tratados y tratados con fungicidas. Ibagué. 1995.

TRATAMIENTO	% INCIDENCIA			
	Plantas		Macollas	
	Inicial	Final	Inicial	Final
Tratamiento 1	2.76	70.56	2.18	61.41
Tratamiento 2	11.41	44.53	5.85	34.02
Tratamiento 3	15.50	65.77	6.20	56.58

Figura 3. Comparación de la incidencia de Rhizoctania solani en arroz, en lotes no tratados y tratados con fungicidas, Salado, Tolima 1995.

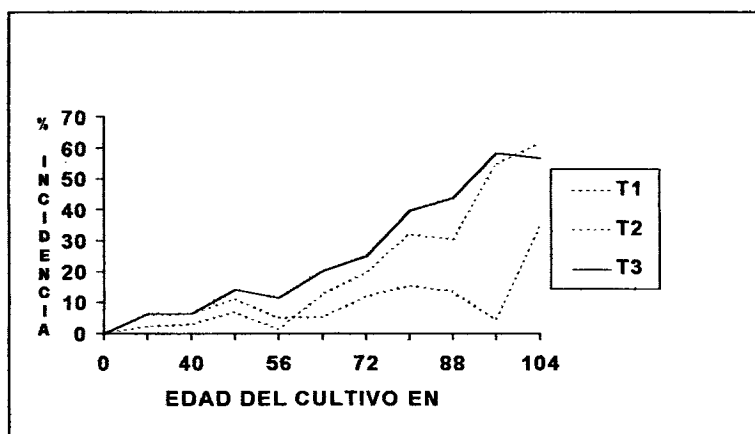


Tabla 5. Porcentaje de incidencia externa e interna del añublo de la vaina del arroz en macollas, a los 140 dda. Salado, Tolima 1995.

TRATAMIENTOS	EDAD / dda	% INCIDENCIA	
		Externa	Interna
Tratamiento 1	140	98.50	12.43
Tratamiento 2	140	75.75	15.51
Tratamiento 3	140	88.00	9.37

4. CONCLUSIONES

Para obtener mayor precisión en la evaluación del añublo de la vaina del arroz se sugiere muestrear veinte sitios por hectárea.

Los modelos obtenidos permiten predecir la enfermedad durante el ciclo vegetativo del cultivo.

La escala Colombiana propuesta se ajusta mejor que la escala IRR1, para evaluar la enfermedad, en plantas y macollas, durante el período vegetativo del cultivo de arroz.

Se encontró un modelo matemático para realizar conversión entre la escala IRR1 y la escala Colombiana, de modo que, al usar cualquiera de las dos se puedan diseñar estrategias eficientes de manejo.

El manejo del añublo de la vaina debe sustentarse en el conocimiento de la intensidad de la enfermedad durante el período vegetativo del cultivo.

5. BIBLIOGRAFIA

1. Alborno, R. 1987. Tizón de la vaina (*Rhizoctonia solani*) una enfermedad potencialmente importante en el cultivo del arroz en Colombia. Publicación HOECHST. p11. Mimeografiado.
2. Aristizabal, D. 1993. Variedades de arroz, añublo de la vaina (*Rhizoctonia solani*) e interacción con agentes de control biológico bajo condiciones de riego. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía. Postgrado Tecnología de la Producción. pp 26 - 27.
3. Farah, E. y Iwasawa, H. 1988. Añublo de la vaina en el cultivo del arroz. Arroz (357) 37: 20-23.
4. Gutierrez, J., Meneses, A., Jurado, J. 1996. Análisis comparativo de escalas de severidad sobre el añublo de la vaina en el cultivo de arroz. Tesis de grado. Universidad del Tolima.
5. Hernandez, T. 1986. Análisis matemático de epidemias y uso de la información computarizada en epidemiología cuantitativa. Mimeografiado 32p.
6. Iwa, S. 1992. El añublo de la vaina (*Tanatephorus cucumeris*). Memorias Foro Nacional de *Rhizoctonia* en arroz. Federación Nacional de Arroceros. 14pp.

BIOLOGIA, DINAMICA Y MANEJO DE POBLACIONES DE LA CHINCHE DE LOS PASTOS
Collaria columbiensis EN LA SABANA DE BOGOTA.

Copia resumida

Nancy Barreto Triana
 Edgar Martínez Granja
 Epidemiología
 CORPOICA

RESUMEN

El ataque de la chinche de los pastos disminuye la calidad de las praderas gramíneas dedicadas a la explotación lechera en la Sabana de Bogotá. Para su control se ha generalizado el uso de insecticidas químicos de alta toxicidad, los cuales provocan mortalidad de animales, incrementan la contaminación ambiental y dejan residuos tóxicos en la leche y sus derivados. Esta investigación se realizó con el fin de encontrar métodos sostenibles de manejo de la plaga, sustentados en el conocimiento de su biología, su dinámica poblacional y sus enemigos naturales. El ciclo de vida tiene una duración promedio de 65.2 días e incluye los estados de huevo, cinco estadios ninfales y adulto. La plaga se dispone espacialmente en un arreglo agregado o contagioso. Para estudios de dinámica se requiere un mínimo de 39 muestras por hectárea tomadas al azar. La fluctuación poblacional de la chinche ha sido similar en los cuatro municipios evaluados. Con el pastoreo se reduce considerablemente la población de la plaga. Los más altos índices se registran entre la quinta y séptima semana después de esta práctica. Se han encontrado tres especies de depredadores y tres géneros de hongos entomopatógenos. Con base en los resultados obtenidos, se han recomendado algunas prácticas de manejo de la plaga, con las cuales se mantienen bajas poblaciones, evitando daños considerables en el pasto. Esta investigación se realizó gracias al apoyo de CORPOICA, COLCIENCIAS y el FONDO NACIONAL DEL GANADO. } Justo

1. INTRODUCCION

La Sabana de Bogotá cuenta con 290.000 hectáreas dedicadas a la producción lechera, de las cuales el 80% corresponde a praderas de pasto kikuyo. Una de las plagas que afecta la producción de esta gramínea es la chinche de los pastos. Sus primeros daños se registraron en 1988 (NNE, 1992). A partir de 1992 se ha observado el incremento sostenido de sus poblaciones y la distribución en diferentes municipios de la Sabana de Bogotá. Inicialmente el daño se atribuía a las heladas (NNE, 1992). Pero en 1993 se encontró que existía relación directa entre el incremento de los daños y las altas poblaciones de la plaga, lo cual trajo consigo la aplicación de plaguicidas químicos para su control (NNE, 1993). Este mismo año se conoció que la plaga era *Collaria columbiensis* Carvalho, Hemiptera: Miridae. En Colombia, se ha reportado este insecto atacando otras especies de pastos, como braquiopará, azul orchoro, raigrás y falsa poa (NNE 1992, 1993; Acevedo e Isaza, 1995). Su mayor incidencia se ha observado en las mezclas de kikuyo con raigrás (Benavides y Téllez, 1995). Otra especie *Collaria oleosa*, fue registrada en Antioquia en 1953, atacando potreros de kikuyo, y en 1991 en pasto elefante (NNE, 1991). En Brasil, México y Estados Unidos, existen otras especies de *Collaria*, las cuales tienen una amplia gama de hospederos, abarcando gramíneas de importancia económica como arroz, trigo, maíz y diferentes forrajes. (Menezes, 1990).

Debido al ataque de las plagas se afecta la calidad y valor nutritivo de los forrajes, lo cual se refleja directamente en el crecimiento y producción de los animales. Un forraje es considerado de buena calidad si su contenido de nutrientes es balanceado, tiene alta digestibilidad y es aceptado }

por el animal. Cualquier alteración de estos componentes afecta el rendimiento del ganado (Bernal, 1994). En el caso del pasto kikuyo, se han encontrado diferencias en contenido de proteínas entre hojas sanas (25,79%) y hojas afectadas por el insecto (13,22%) (Solla-Notas).

Esta plaga se ha convertido en un agente inductor de desequilibrio ambiental, puesto que para su control se utilizan plaguicidas químicos de alta toxicidad, los cuales aumentan la contaminación y dejan residuos tóxicos en la leche y sus derivados (Benavides y Téllez, 1995).

El manejo de plagas en forrajes, como en cualquier cultivo, debe incluir estrategias para mantener poblaciones del insecto que no causen daño económico. Además, hay que evitar el uso del control químico, puesto que, según la FDA, el nivel de tolerancia de trazas de plaguicidas en leche es cero (Metcalf y Luckmann, 1994).

Para poder definir un modelo de manejo de poblaciones de la plaga, es necesario conocer su biología y comportamiento dentro del agroecosistema, con el fin de hacer control oportuno y así contribuir a la conservación del medio ambiente, rentabilidad y sostenibilidad de la explotación lechera.

2. METODOLOGIA

2.1. Ciclo de vida

En campo se recolectaron adultos de la chinche, los cuales se colocaron en una cámara de oviposición, que consistió en un frasco de vidrio, al cual se le colocaron abundantes macollas de pasto kikuyo y se cubrió con muselina. A los tres días se extrajeron las macollas que tenían posturas; se cortaron en trozos de 3 cms de largo, se colocaron en cajas petri para su incubación y se hicieron observaciones diarias. Se evaluaron diferentes técnicas para hacer el seguimiento de la biología de la plaga. Se utilizaron cajas petri con trozos de pasto, pasto sembrado en materas cubiertas con acetato y cajas petri modificadas; estas últimas, mostraron mejores resultados ya que se redujo en un 90% la mortalidad de ninfas de primero y segundo instares. El método consistió en cajas petri plásticas, que tenían en la tapa una ventana de 2,5 x 2,5cm, sellada con muselina. En el interior se colocó papel filtro; trozos de pasto kikuyo fresco, que se cambiaba cada dos días y un trozo de oasis de 1x1cm, al cual se le adicionaba diariamente 1,5 ml de agua. Para determinar el cambio de instar, se tuvo en cuenta la presencia de las exuvias encontradas sobre el pasto.

2.2. Dinamica poblacional

Para determinar el patrón de disposición espacial y tamaño de muestra requeridos en los estudios de investigación de dinámica poblacional de la plaga, se siguió la metodología desarrollada por Barreto y Martínez (1995). El trabajo se llevó a cabo en fincas ganaderas de los municipios de Tenjo, Zipaquirá, Tocancipá y Mosquera. Con el objeto de establecer el umbral de daño se propuso una escala de evaluación que comprende cuatro niveles (Tabla 1).

2.3. Enemigos naturales

Paralelamente a los muestreos para establecer la dinámica poblacional de la plaga, se hicieron observaciones sobre insectos y hongos benéficos. La fauna recolectada se llevó al laboratorio y se colocó dentro de frascos de vidrio que contenían trozos de pasto y adultos de la chinche de los pastos. Para aislar entomopatógenos, se colectaron adultos de la plaga en sitios donde no se hubieran hecho aplicaciones de insecticidas biológicos. Los ejemplares se colocaban en cámara

húmeda y después de la aparición de los signos del patógeno sobre el insecto, se hicieron aislamientos en medio de cultivo para su purificación e identificación.

Tabla 1. Escala para evaluar daño causado por la chinche de los pastos en kikuyo. Tibaitatá 1995.

Nivel	Daño	Descripción
1	Sin daño	
2	Leve	Presencia puntos blancos
3	Moderado	Amarillamiento bordes y ápice
4	Grave	Necrosis apical.

3. RESULTADOS Y DISCUSION

3.1. Ciclo de vida

La hembra oviposita dentro de la vaina de la hoja, donde coloca entre 3 y 15 huevos formados en hileras que se disponen longitudinalmente. Los huevos cambian de color a medida que maduran: recién ovipositados son brillantes y de un tono verde claro; después, adquieren una coloración naranja-rojiza que conservan hasta la eclosión de las ninfas. El tiempo promedio de incubación es de 15.5 días.

Se distinguen cinco estadios o instares ninfales. El cambio entre cada estadio ninfal se determina por la presencia de la muda o exuvia que dejan las ninfas sobre el pasto; también, por su tamaño y el desarrollo de las alas. Las ninfas recién eclosionadas tienen el cuerpo rojizo; las patas y las antenas son incoloras, pero al cabo de 3 minutos, aproximadamente, adquieren el mismo color del cuerpo. El tamaño es la única diferencia entre ninfas de primero y segundo instar. A partir del tercero, se inicia el desarrollo de las alas. En el quinto, las alas cubren más de la mitad del cuerpo del insecto y se pueden diferenciar el macho de la hembra, básicamente, por el tamaño del cuerpo y del abdomen. La duración de cada estadio ninfal oscila entre 5 y 6.5 días. En promedio, el período ninfal dura 28.5 días.

El tamaño y el color de los adultos varía según el sexo. La hembra es más grande, de color pardo claro, tiene el abdomen verde y visiblemente más voluminoso, su longitud varía entre 5.2mm y 6.2 mm y vive 26 días. Por su parte, el macho es más oscuro, de menor tamaño, su longitud varía entre 4.2 mm y 5 mm y vive en promedio 16.5 días.

El ciclo de vida del insecto tiene una duración total de 65.2 días, contados desde la postura hasta la muerte. Debe señalarse que al hacer un muestreo para conocer la densidad de población de la plaga, se encuentran individuos inmaduros y adultos al mismo tiempo y que ambos estados causan daño en las praderas, En la tabla 2. se presenta la duración de cada estado biológico.

3.2. Dinámica poblacional

Después de analizar estadísticamente los datos de los muestreos, comparando los modelos de Kuno e Iwao, para determinar cual se ajustaba a los datos observados, teniendo en cuenta los parámetros como normalidad de residuales, significancia del parámetro estimado y el coeficiente de determinación (R^2), se encontró un mejor ajuste del modelo de Iwao.

Tabla 2. Duración de cada estado biológico de la chinche de los pastos

Estado	Rango Duración (Días)	Promedio duración (Días)
Huevo	12 -19	15.5
Ninfas		
Primer instar	4 -7	5.5
Segundo instar	4 -6	5.0
Tercer instar	4 -8	6.0
Cuarto instar	4 -7	5.5
Quinto instar	4 -9	6.5
Adultos		
Hembra	2 - 50	26
Macho	5 - 28	16.5
Total		60.5 - 70

Se estableció que el patrón de disposición espacial de la chinche es agregado o contagioso y de acuerdo a esta disposición el tamaño de muestra fija debe ser mínimo de 39 por hectárea tomadas al azar, haciendo 10 pases dobles de jama.

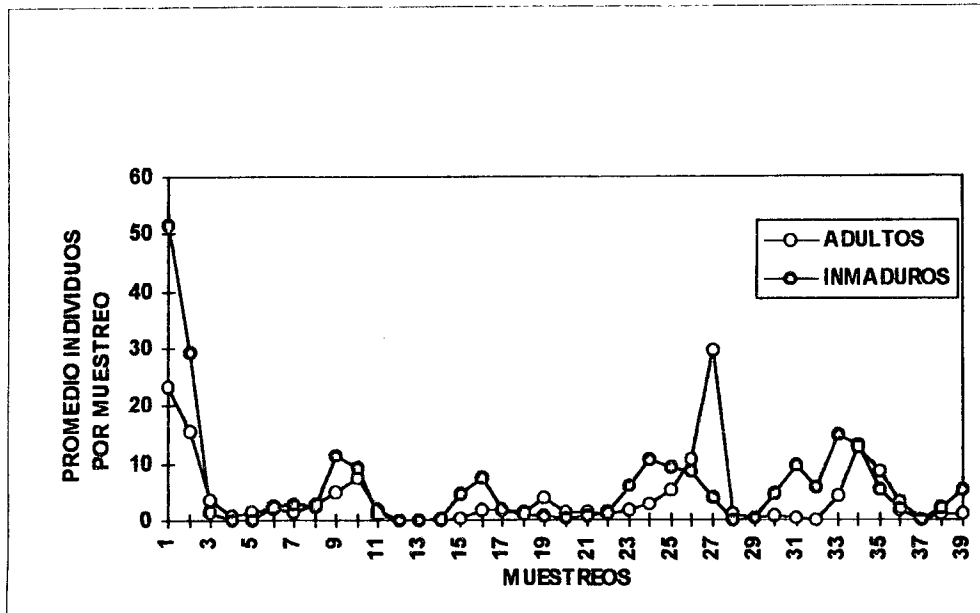
A través de los muestreos de campo, se estableció la fluctuación de la chinche desde septiembre 94 hasta febrero de 1996, y se obtuvo información técnica útil para el manejo de la plaga.

En términos generales, se registraron altas poblaciones, tanto en época seca, como lluviosa. No obstante, el nivel de daño en época seca es mayor, porque a la presencia de la plaga, se suman otros factores físicos, como bajas temperaturas y sequía.

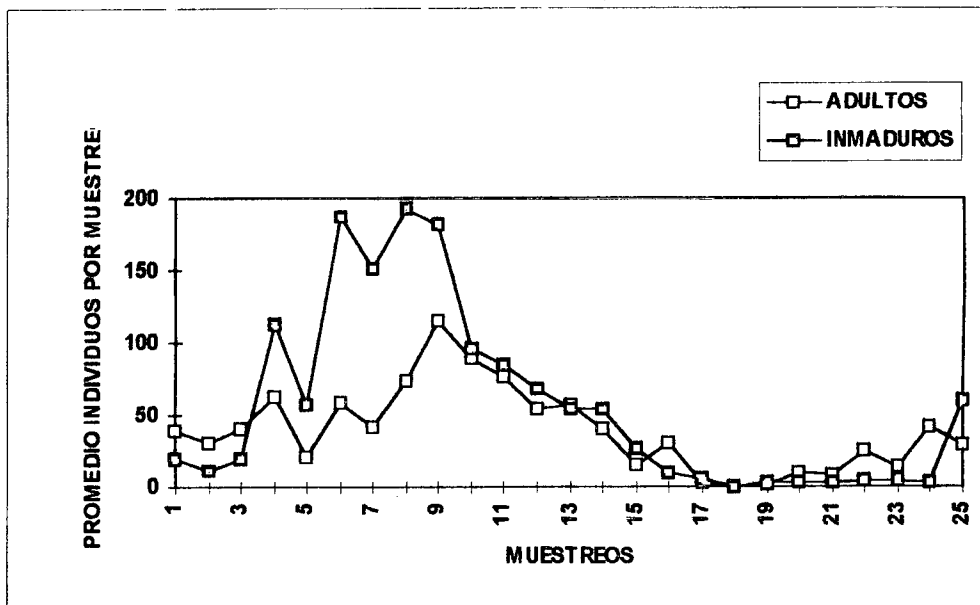
Igualmente, las diferentes prácticas de manejo de las praderas tienen efecto directo en la densidad de población y daño de la plaga. En la gráfica 1 se observa el efecto de algunas prácticas agronómicas, sobre la fluctuación de la plaga, en un lote dedicado a la explotación lechera, en el municipio de Zipaquirá. En el primer muestreo realizado dos semanas antes del pastoreo, el promedio fue de 52.7 individuos por hectárea y se observaron focos de pasto en sus estados iniciales de amarillamiento. Tanto con el pastoreo, como con la guadaña, se redujo la población de la plaga y el nivel de daño. Cinco semanas después, se encontró que la máxima población fue de 18.9 insectos por hectárea y se observó un mínimo daño correspondiente a la presencia de puntos blancos en las hojas. Esta tendencia fue recurrente durante los siguientes muestreos realizados.

Para conocer la fluctuación de la plaga en ausencia de pastoreo y de prácticas agronómicas, se hicieron muestreos cada ocho días, durante cuatro meses, en un lote localizado en el municipio de Zipaquirá. En la figura 2 se ilustran los cambios en la densidad de población de la chinche. El primer muestreo se realizó a los 35 días después del último pastoreo; las plantas mostraron síntomas iniciales de daño y un número promedio de 58 individuos por hectárea. Cuando la población se incrementó a 176 y 245 individuos, hubo amarillamiento de bordes y ápice foliar, respectivamente. Se encontró que 297 individuos fue la mayor población registrada que corresponde a los primeros síntomas de necrosis de los tejidos apicales. A partir de este nivel de daño, desciende la población y se observa volcamiento del pasto y necrosis del 70% del tercio superior de la hoja. En el último muestreo se encontró un promedio de 41 individuos y se determinó que, aproximadamente el 3% del número total de vainas examinadas, tenían entre 5 y 18 huevos, lo cual explica que por razones de sobrevivencia, las hembras buscan pasto en condiciones óptimas para ovipositar y asegurar la conservación de su especie.

Gráfica 1. Dinámica poblacional chinche de los pastos. Zipaquirá 1995



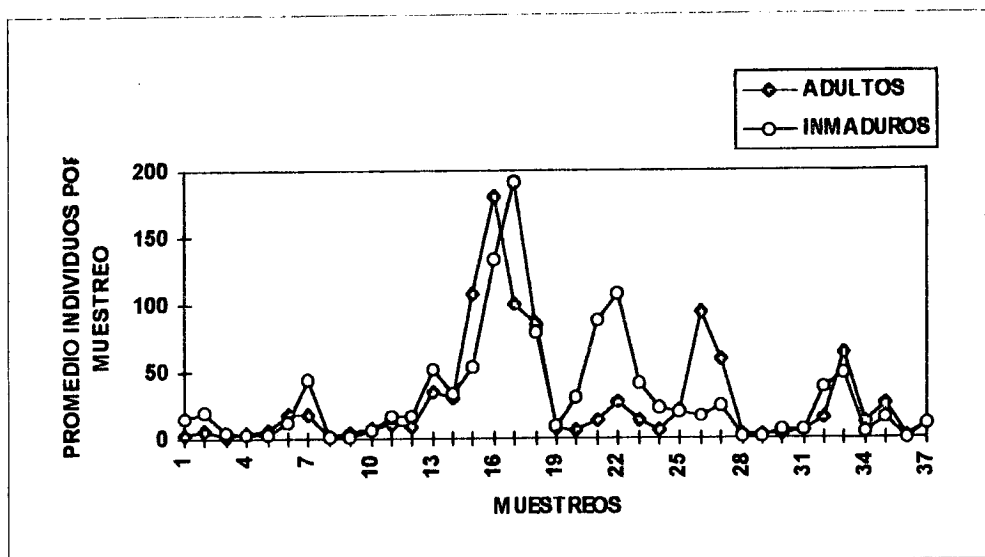
Gráfica 2. Dinámica poblacional chinche de los pastos. Lote Natural Zipaquirá 1995



La gráfica 3, corresponde a los muestreos realizados desde septiembre de 1994 hasta febrero de 1995, en Tenjo. Se muestra la tendencia de las poblaciones en un potrero donde se hacen aplicaciones de insecticidas. En el segundo muestreo la población promedio fue de 6.6 adultos y 20.1 ninfas. Se hizo aplicación de insecticida, el cual no tuvo mucho efecto

sobre estas presentando el incremento en la quinta semana. Entre los muestreos 16 al 20 se registraron heladas en la Sabana de Bogotá. En el muestreo 18 se presenta la máxima población con promedio de 180.16 adultos y 133.6 ninfas. Aparentemente las heladas no tuvieron efecto directo sobre la plaga y ésta es resistente pues a pesar de que el pasto estaba quemado y seco, mantuvo sus poblaciones altas. En los siguientes muestreos, la tendencia fue similar a la de los otros municipios.

Gráfica 3. Dinámica poblacional chinche de los pastos. Tenjo 1994-1995

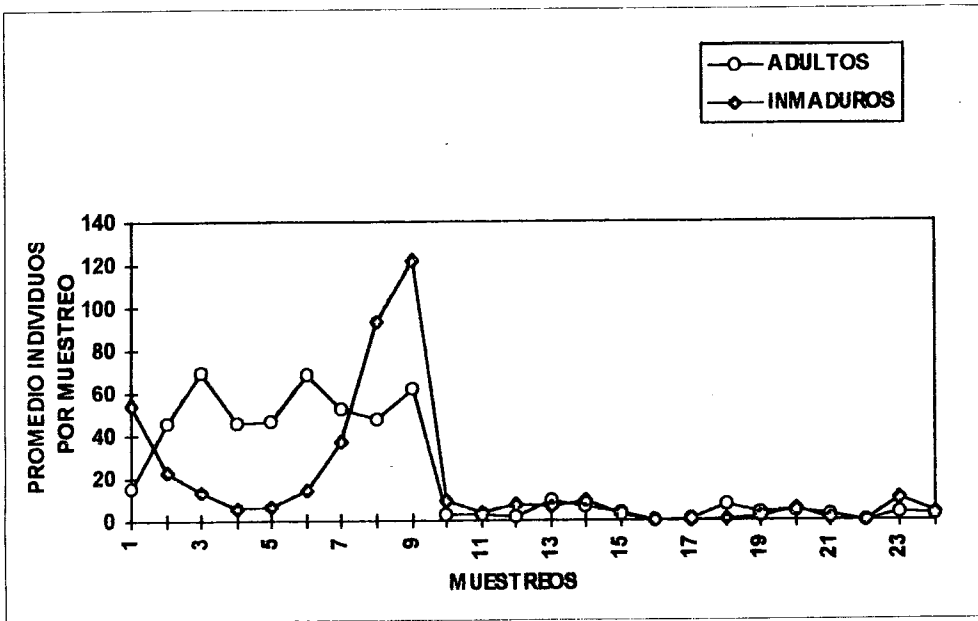


La gráfica 4 muestra la fluctuación de la plaga en el mismo potrero, correspondiente al periodo de septiembre de 1995 hasta febrero de 1996. Es necesario aclarar que en este potrero se hicieron varias aplicaciones de insecticidas de categoría toxicológica I y II y productos biológicos. Cuando se iniciaron los muestreos en 1994, había abundante fauna benéfica que posteriormente desapareció. A pesar de que las poblaciones de la plaga también han disminuido, siempre se presentó daño severo en el pasto, debido a que no hacen labores de renovación, hay presencia de colchones formados por los estolones, lo que hace que las plantas sean débiles y resistan menos el ataque del insecto.

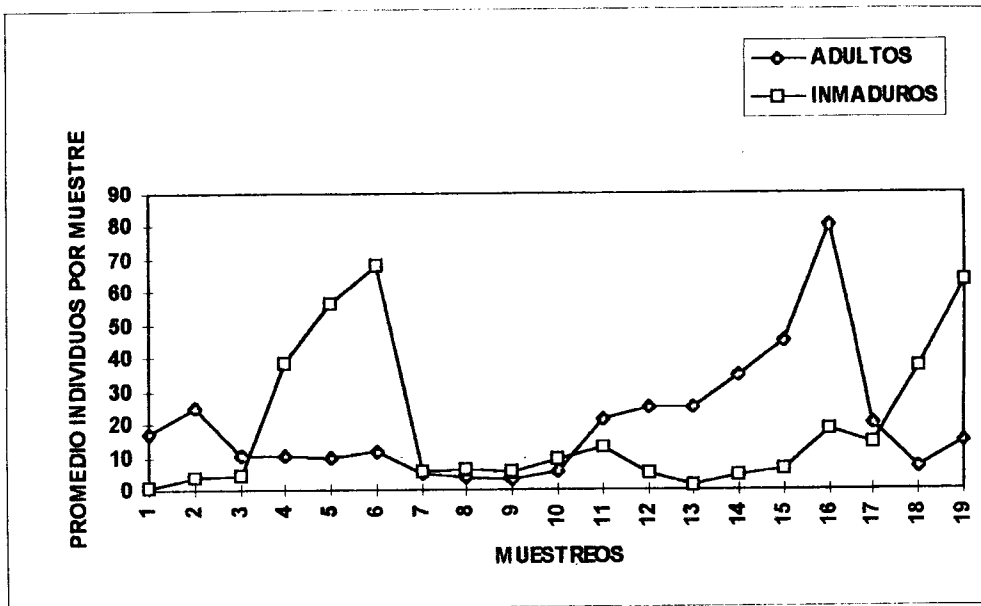
La gráfica 5 describe la fluctuación de la población en un lote en Mosquera, donde la rotación es mayor de 130 días, hay acolchonamiento del pasto y por lo tanto su desarrollo es bajo; su máxima altura no supera los 40cm, y presenta altos niveles de daño.

El pastoreo se hizo entre las semanas 6 y 7; fue superficial, pues el pasto quedó a una altura promedio de 18cm. La población promedio por hectárea, antes del pastoreo, fue de 79.7 individuos que correspondió al nivel de daño 2. Después del pastoreo el promedio fue de 10.3 insectos. En el muestreo 9 se observa una población baja de 8.6 individuos, que causó daño a partir de la segunda semana después del pastoreo. En el muestreo 14 se registró el nivel de daño 2 con un promedio de 38.9 individuos, y a partir del muestreo 16, cuando la población alcanzó su máximo nivel, inició el daño 3. Luego inició el descenso de la población y se incrementó el daño en la pradera.

Gráfica 4. Dinámica poblacional chinche de los pastos. Tenjo 1995-1996



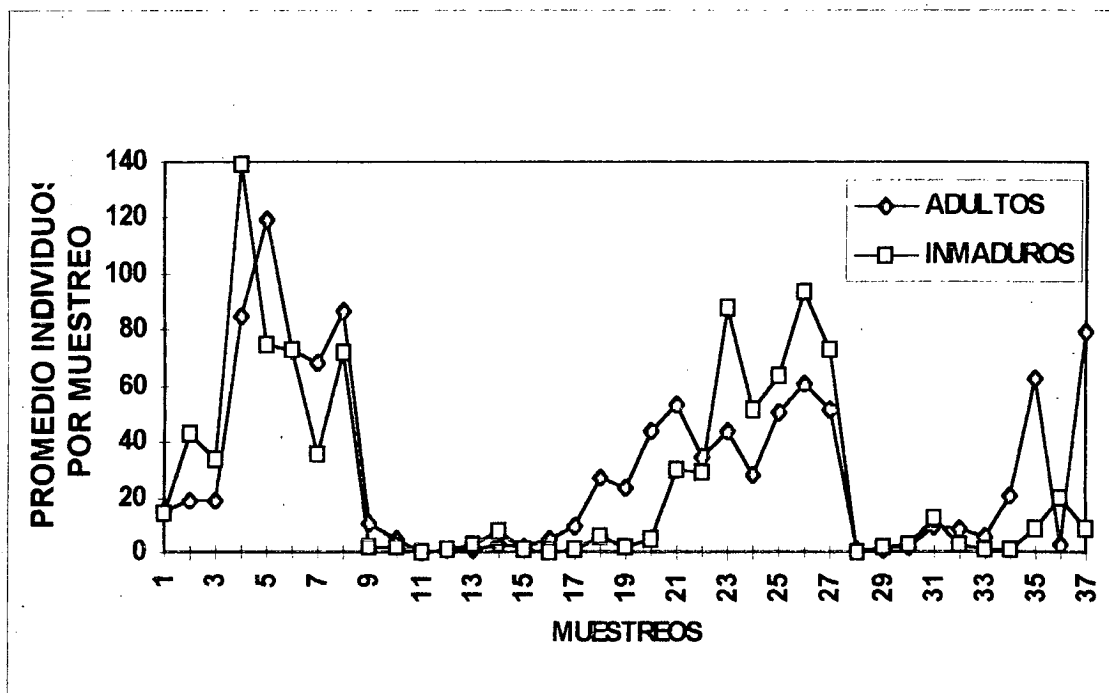
Gráfica 5. Dinámica poblacional chinche de los pastos. Mosquera 1995-1996



En la figura 6 se muestra la fluctuación de la plaga en un potrero de Tocancipá donde la rotación es de 120 días; se hace fertilización después de cada pastoreo y cada dos pastoreos se pasa la guadaña. Debido a este largo período de rotación, siempre se registra el máximo daño, volcamiento y altas poblaciones de la chinche. En el primer muestreo la población promedio por

hectárea fue de 28.9 individuos y el daño correspondió al nivel 1; una semana después, se registró una población de 61.6 individuos y un nivel de daño 2. A partir del cuarto muestreo se incrementó la población a 224.4 individuos, iniciando la necrosis apical del pasto y volcamiento del mismo en algunos sitios. El muestreo 9 se hizo 2 días después del pastoreo y la población de la plaga bajó considerablemente. En la siguiente semana se pasó la guadaña y por esta práctica se mantuvo niveles bajos de población y ausencia de daño durante 9 semanas. En el muestreo 20 se observa daño en sus estados iniciales y se encuentran 48.1 individuos. En el muestreo 22 se registra daño 2 y un mes después se encuentra necrosis apical y volcamiento, con un promedio de población de 113.8 individuos por hectárea. El muestreo 28, se realizó después del pastoreo y la población registrada fue muy baja. Esta practica fue superficial quedando el pasto con una altura superior a 15 cm, por lo tanto dos semanas después se inició el daño, a pesar de que los niveles de población eran bajos 4.8 individuos. A partir del muestreo 35 se registró el nivel de daño 2 y en el siguiente comenzó el volcamiento.

Figura 6. Dinámica poblacional chinche de los pastos. Tocancipá 1995-1996



3.3. Enemigos naturales

Se encontraron tres depredadores ejerciendo acción sobre la chinche y se realizó la cría y evaluación de la capacidad de depredación de *Eriopis conexa conexa*, por ser una especie abundante en este agroecosistema. Los otros dos corresponden a una araña aun sin clasificar y a una especie del orden Odonata. Entre los entomopatógenos aislados de la chinche, se han encontrado tres géneros de hongos, *Cladosporium sp.*, *Beauveria sp.*, y *Fusarium sp.*, con los cuales se están haciendo las pruebas de patogenicidad.

4. RECOMENDACIONES DE MANEJO

Las siguientes prácticas, que se pueden adoptar de acuerdo al sistema de producción de cada finca, ayudan a mejorar la productividad de la pradera y a reducir poblaciones de la plaga:

- Hacer fertilización adecuada con base en análisis de suelo.
- Aplicar riego
- Renovación de praderas con rastrillo o renovador
- Establecer praderas que incluyan mezclas de gramíneas y leguminosas.
- Cuando haya disponibilidad de forraje, acortar el período de rotación para evitar el máximo nivel de daño.
- La labor de pastoreo debe hacerse dejando el pasto con una altura inferior a 10 cm para evitar que la población de la plaga y el daño se incrementen rápidamente.
- Utilizar la guadaña después del pastoreo cada dos períodos de rotación
- De acuerdo a la disposición espacial de la plaga, el control debe hacerse sobre los focos, si aún faltan varias semanas para el pastoreo.

5. CONCLUSIONES

- El ciclo de vida de la chinche de los pastos tiene una duración promedio de 60.5-70 días, pasando por huevo, cinco estadios ninfales y adulto.
- Las poblaciones de la plaga se encuentran distribuidas en focos.
- El tamaño de muestra es de 39 por hectárea tomadas al azar, cada muestra debe ser de 10 pases dobles de jama.
- Teniendo en cuenta que la rotación de potreros en la Sabana de Bogotá es de 50-70 días y de acuerdo a la fluctuación poblacional registrada, vemos que la duración del ciclo de vida de la chinche está sincronizado con el sistema de producción, indicando su capacidad de adaptación.
- La práctica de pastoreo reduce las poblaciones de la plaga, siempre y cuando se deje el pasto con una altura promedio de 10 cms.
- El uso de la guadaña después del pastoreo ayuda a mantener niveles bajos de población, debido a que destruye huevos y vainas ovipositadas.
- La aplicación de insecticidas 8ddp, no tiene ningún beneficio, porque no controla huevos y el ciclo se desarrolla normalmente.
- El daño está relacionado con el desarrollo del pasto, el máximo daño se presenta en plantas con mayor altura.
- Existen enemigos naturales ejerciendo control sobre la plaga, los cuales deben tenerse en cuenta para ser incluidos en un plan de manejo integral de la misma.
- Las prácticas culturales ayudan a mantener densidades bajas de la población de la plaga.
- Comparando las diferentes prácticas de manejo, vemos que la utilización de insecticidas ejerce algún control pero también acaba con la entomofauna y por consiguiente hay desequilibrio del agroecosistema.

6. BIBLIOGRAFIA

1. BARRETO, N y MARTINEZ, E. 1996. La chinche de los pastos *Collaria columbiensis* en la sabana de Bogotá. Revista Carta Fedegan. 37 : 42 -49.
2. BENAVIDES, M. y TELLEZ, J. 1995. Diagnóstico del chinche de los pastos. Instituto Colombiano Agropecuario. Tibaitatá.

3. BERNAL, J. 1994. Pastos y forrajes Tropicales. Producción y manejo. Banco ganadero. Tercera edición. Colombia.
4. DE MENEZES, M. 1990. *Collaria oleosa* (Distant, 1883) (Hemiptera : Miridae), nova praga de gramíneas forrageiras no sudeste da Bahia, Brasil. *Agrotropica*. 2 (2) : 113 - 118.
5. METCALF, R. y LUCKMANN, W. 1994. Introducción al manejo de plagas de insectos. Editorial Limusa. México.
6. SOLLA NOTAS. Boletín.
7. SOUTHWOOD, T. 1978. Ecological methods whit particular reference to the study of insect populations. Chapman an Hall. London.
8. ZENNER, I. y BORRERO, F. 1992. Notas y Noticias Entomológicas. ICA. "Enemigos naturales". Enero - Febrero.
9. ZENNER, I. 1992. Notas y Noticia Entomológicas. ICA . "Vuelve y juega". Noviembre - Diciembre.
10. _____. 1993. Notas y Noticias Entomológicas. ICA. "Aumenta problema". Marzo - Abril.
11. _____. 1993. Notas y Noticias Entomológicas. ICA. "Al fin se conoce". Mayo - Junio.
12. _____. 1993. Notas y Noticias Entomológicas. ICA. "Problema sin solucionar". Julio - Agosto.
13. _____. 1993. Notas y Noticias Entomológicas. ICA. "Sigue atacando". Septiembre - Octubre.
14. _____. 1993. Notas y Noticias Entomológicas. ICA. "No se congelaron". Noviembre - Diciembre.

LA CIENCIA DE LAS MALEZAS Y SU PROSPECTIVA

Juan Manuel Arrieta Herrera. Investigador Asistente
Programa Nacional de Manejo Integrado de Plagas - MIP -

1. INTRODUCCIÓN

El estudio de las malezas como disciplina de las ciencias biológicas está entrando en un periodo crítico de su desarrollo, particularmente por cuanto todos los métodos que se han generado para su control se fundamentan casi que exclusivamente en el uso de productos de origen químico altamente "efectivos", los cuales han evitado un mayor desarrollo de esta ciencia con una amplia base científica. Esta condición ha sido mas prevaleciente y perjudicial en los países en vías de desarrollo ya que en estos ha aumentado la dependencia química para el manejo de malezas, restándole demasiada importancia que ameritan los estudios básicos que permitan la generación de alternativa para su manejo con un reducido impacto ambiental.

El "éxito" de la tecnología química se debe a que gran cantidad de recursos han sido dedicados a la investigación en el desarrollo de herbicidas y a evaluar su efectividad, mientras que muy poco se ha dedicado a la investigación sobre el efecto de ellas en la agricultura y el ambiente, métodos no químicos de control y ecología de malezas.

Ahora la sociedad tiene metas diferentes a las de hace 30 años, cuando esta Ciencia se comenzó a desarrollar. Ahora se demandan opciones adicionales y/o substitutivas, para resolver los grandes problemas de la producción y estas soluciones tienen que ver con alternativas de producción económica y ambientalmente viable y estable.

Por ello, este documento más que plantear una problemática pretende convertirse en una propuesta alternativa que permita dedicar por parte de todos los que trabajamos en este área mayores esfuerzos a la construcción de esta Ciencia, planteada en los términos arriba expuestos, y la cual efectivamente ha comenzado con su inclusión en la nueva estructura organizativa de CORPOICA y su Programa Nacional de Manejo Integrado de Plagas.

1. PROBLEMÁTICA

Desde 1969, en nuestro país se plantearon las necesidades de investigación en el área de estudios fisiológicos en malezas por parte del programa de Fisiología Vegetal del ICA. El estudio de las malezas y sus relaciones con los cultivos fue abordado desde el punto de vista de la competencia de dos organismos por recursos escasos, lo cual orientó la ciencia de las malezas a la estructuración de técnicas de control o eliminación (fundamentalmente químico). Aunque en su momento fueron metodologías eficaces, su relativo éxito y sus relaciones costo/beneficio favorables, trajeron como consecuencia que se descuidaran estudios básicos sobre la relación biológica entre las especies de interés.

De allí que en estos momentos, la problemática se circunscribe al uso indiscriminado de productos químicos para la supresión de "malezas" y como consecuencia lógica el relativo desconocimiento que se tiene sobre el rol de estas especies en un agroecosistema dado, debido fundamentalmente

a que el efecto "eficiente" de los herbicidas, ha impedido el desarrollo de estudios básicos que permitan generar metodologías de manejo diferentes al control químico.

Para el año de 1992, el valor de las importaciones de productos plaguicidas al país, sumaron 285 millones de dólares, de estos, 117 millones (41%) correspondieron a unos 213 productos terminados de herbicidas. Sin embargo, las pérdidas en cultivos de gran importancia, se calcularon en 5.700.000 toneladas, por un valor aproximado de 33.300 millones de pesos, lo que demuestra el mal uso que de ellos se viene haciendo.

Estudios recientes han demostrado que existen unas 300 especies malezas catalogadas como de agresividad entre media y alta en los principales cultivos agrícolas del país, entre ellas, malezas de sistemas acuáticos y de potreros. En los últimos 10 años, con el incremento en la introducción e importación de semillas de pastos, hortalizas, cereales y otras especies, al igual que con el uso exagerado de algunas prácticas agronómicas (maquinaria, herbicidas, etc.), han aparecido especies nuevas" y/o se han incrementado las poblaciones de otras consideradas anteriormente no nocivas, entre ellas tenemos: *Daucus sp*, *Centaurea sp*, *Fumana officinalis*, *Bromus sp*, *Poa trivialis*, *Anthemis arvensis*, *Polygonum aviculare*, *Stelkaria media*, *Senecio inaequidens*, *Gnaphalium atrericwm*, *Cirsium vulgare*, *Conyza bonariensis*, *Parthenium hysterophorus*, *Cuscuta campestris*, *Luziola peruviana*, *Paspalum pilosum*.

La mayor parte de la tecnología sobre manejo de malezas ha sido generada en zonas de agricultura empresarial por lo cual, ésta encuentra dificultades para su transferencia rápida ya que no es aconsejable su aplicación integral en otros sistemas de producción. En sistemas de policultivos no se dispone de información básica sobre factores tan importantes como la época crítica de competencia de los cultivos ni sobre umbrales económicos. En áreas de ladera, donde los sistemas de policultivos son importantes, no se ha medido el impacto que las recomendaciones convencionales pueden tener sobre factores tan importantes como la sostenibilidad y estabilidad del sistema productiva, y afín hasta de orden técnico y socioeconómico.

En Colombia, las actividades agropecuarias ocupan actualmente, un total de 31 millones de hectáreas. De estas, 2.1 millones se usan en cultivos temporales, 2.3 millones en cultivos permanentes, 17.3 millones en pastos y 9.3 en otras actividades.

El progreso tecnológico en la agricultura el temor por las consecuencias del uso irracional de los recursos naturales y especialmente la sobreproducción agrícola en los países industrializados está causando un aumento en la conciencia pública sobre los efectos de los agroquímicos.

2. EL ROL DE LAS MALEZAS DENTRO DEL MANEJO INTEGRADO DE PLAGAS.

2.1. Coevolución de las especies

"Maleza" es un término antropocéntrico aplicado a varias poblaciones de plantas indeseables para una situación particular. Remontándonos un poco al origen de éstas especies, Baker (1974), di Castri (1989) y Sallsbury (1961), identifican tres orígenes primarios para las malezas: a) especies salvajes que pueden adaptarse a los disturbios recurrentes de los agroecosistemas; b) especies cultivadas que pueden escaparse a la domesticación y persisten como malezas en los agroecosistemas y c) nuevas malezas que pueden aparecer debido a la hibridación e introversión entre cultivos y especies salvajes, ello debido, a que estas especies a veces comparten taxas y sirven como pool genético, dentro de la variabilidad e) existente en un ecosistema.

La teoría de la domesticación de plantas, sostiene que ciertas plantas existieron primero como flora localmente adaptada, en sitios con moderado disturbio. Como el hombre, comenzó a disturbar adicionalmente hábitats nuevos, estas especies preadaptadas fueron capaces de

colonizar estos nuevos sitios. Algunas de estas especies fueron fértiles al hombre y las llamó "cultivadas". Otras especies fueron menos fértiles, las cuales sobrevivieron y se dispersaron con o sin la ayuda del hombre, se llamaron "malezas".

Debido a sus múltiples orígenes y su posterior Coevolución, estas especies han tenido considerable atención por cuanto sus estudios han suministrado información necesaria sobre la capacidad de ellas a la adaptación a ciertos nichos ecológicos en los agroecosistemas y los mecanismos de sobrevivencia que tienen para persistir en estos ambientes.

La simplificación ambiental que caracteriza los sistemas agrícolas modernos, ha acelerado los patrones de sucesión de plantas en la agricultura creando hábitats específicos que favorecen la selección de especies competitivas. De hecho, las malezas interactúan ecológicamente con todos los demás subsistemas de un agroecosistema dado y son valiosas en el control de la erosión, la conservación de la humedad del suelo, formación de materia orgánica y nitrógeno en el suelo, preservación de insectos benéficos y de la vida silvestre. Este concepto ha permitido que en los últimos años se acude el término "arvenses", para denominar a estas especies con un sentido más de manejo.

2.2. Interrelación de especies consideradas malezas con otras plagas.

Es conocido que muchas de estas especies vegetales además de competir por luz, agua, nutrientes, también protegen insectos y patógenos que pueden atacar los cultivos, causando aún más daño. Es también bastante documentado el hecho de que muchos insectos transmiten enfermedades a ciertos cultivos y que controlando las malezas se prevé que los insectos o patógenos, tengan huéspedes alternantes en el cultivo.

Por otro lado, las arvenses ofrecen muchos aspectos y características importantes a los enemigos naturales, además de acrobabitats que no se encuentran presentes en los monocultivos libres de malezas. En los últimos 20 años, las investigaciones han demostrado que es más probable que se produzcan explosiones de ciertas plagas en cultivos libres de malezas que en cultivos enmalezados.

De allí que la determinación y decisión a tomar, entre los conceptos arriba expuestos, depende de saber elegir con estudios, conocimiento y práctica, las interacciones positivas, negativas o neutras que en el sistema se estén presentando. El reto del MIP, está en establecer la importancia de las interacciones y decidir sobre la alternativa de intervención más confiables y seguras.

2.2.1. Relación "maleza"- insecto

Las malezas y los insectos ocurren simultáneamente en los cultivos e interactúan unos a otros. Las malezas como los cultivos son elementos productores, desde el punto de vista ecológico y pueden servir como fuente directa para insectos entomófagos. Son muchas las interrelaciones que se dan entre dos organismos, algunas malezas por fuera de los ecosistemas cultivados pueden servir de huéspedes alternantes es el caso de *Amaranthus* sp. con *Heliothis* spp. en cultivos de maíz; otras, pueden soportar muchos artrópodos plagas dentro del ecosistema cultivado, de allí que el control de estas especies "malezas" dentro del cultivo pueden dirigir o conducir los insectos al cultivo.

Algunas especies arvenses pueden hospedar también insectos benéficos, sirviendo como huésped alternamente para la presa o directamente proporcionando néctar o polen para los adultos benéficos, como es el caso con especies compuestas de flor amarilla (*Senecios* por ejemplo) en la conservación de algunas abejas y avispas benéficas. Cuando los cultivos son dañados por los insectos plagas, son menos capaces de competir con las malezas, ésta interacción representa aún una duda en la interacción trófica.

2.2.2. Relación Maleza - Hongo

Recientemente se ha desarrollado otra estrategia para el control biológico de malezas, mediante el incremento de la acción destructiva de cepas virulentas de patógenos existentes en las plantas no cultivadas. Los patógenos son producidos masivamente y usados de manera similar a los herbicidas. En esta estrategia bioherbicida o inundativa, los patógenos endémicos y exóticos pueden ser usados como mycoherbicidas, aunque hasta la fecha se han usado mayormente los hongos endémicos.

Como el éxito del control depende de la habilidad del patógeno para autopropagarse, dispersarse y reducir la población del huésped en la región infestada, se debe tener especial cuidado al seleccionar agentes fuertemente patogénicos a las plantas y ecoclimáticamente adaptados al área de estudio.

Algunas de las consideraciones básicas en la selección de patógenos son: a) selección del patógeno; b) enfermedades presentes en la maleza; c) evaluación de la efectividad de campo; d) especificidad del huésped; e) estudios relevantes en el control biológico de patógenos.

La integración del control biológico a base de hongos, con otros métodos convencionales, han recibido poca atención comparado con el control integrado que se hace con artrópodos. Tanto con las estrategias clásicas como con bioherbicidas, los patógenos de plantas son sometidos a un rango de factores bióticos y abióticos, incluyendo el impacto de prevalencia de prácticas culturales y otras medidas de control. De allí la necesidad de tener en cuenta el agroecosistema en general para el manejo y control de malezas. El control biológico requiere un detallado conocimiento de la ecología de la maleza, el ambiente donde ella es un problema, su efecto en el agroecosistema y la extensión del control deseado. Información sobre la ecología del agente de control y su componentes serán también importantes.

El uso de patógenos de plantas como medida de control, ha sido combinado con herbicidas, prácticas mecánicas y culturales. El herbicida microbio "DEVINE", proveniente del patógeno *Phytophthora palmivora*, usado para el control de *Morrenia odorata* en cítricos, ha sido inhibido por el uso de herbicidas como diuron, glyphosato y paraquat. Sin embargo, cuando se aplicó una suspensión de clamidosporas del hongo tres semanas después de aplicar glyphosato, los dos fueron muy efectivos en el control de la maleza.

En un estudio similar la compatibilidad de dos herbicidas como 2,4-D amina y diquat, con *C. Rodnarii*, fue demostrado. Plantas de buchón de agua tratadas con 6.4 y 0.3% de la dosis recomendada de estos herbicidas, fueron altamente susceptibles a *C. Rodnarii*.

3. CONSIDERACIONES DE IMPORTANCIA PARA UN NUEVO ENFOQUE DEL MANEJO INTEGRADO DE MALEZAS: PROPUESTA DE TRABAJO.

Las malezas, como vimos anteriormente, son catalogadas como especies evolucionadas para colonizar o establecerse en ambientes alterados por el hombre o por algún fenómeno natural. Con esta definición le estamos dando un carácter más "integral" al enfoque del tema, lo cual nos permite ver la necesidad de desarrollar programas de manejo y no aquellos que contemplen la visión simplista de su eliminación.

La disciplina de la ciencia de las malezas ha entrado en un período crítico de su desarrollo. Las decisiones de los próximos años determinarán si ésta ciencia se mantiene en las tecnologías orientadas al control o se encamina hacia el desarrollo de una disciplina con una amplia base científica. La agricultura está ahora en un debate con la sociedad sobre cómo deben ser producidos los alimentos. Métodos de control diferentes al químico no han sido investigados

profundamente, de allí la necesidad de nuevos enfoques y sistemas si queremos responder a la sociedad sobre la seguridad alimentaria con prácticas no contaminantes.

Si los que trabajamos en esto no tenemos cuidado, los grandes recursos dedicados a la ciencia de las malezas, como resultado de la búsqueda en la seguridad alimentaria y en el interés ambiental, se seguirán invirtiendo en el uso de tecnología química y no hacia la expansión de conocimiento en esta ciencia.

De acuerdo a las conceptualizaciones y experiencias discutidas anteriormente, racionalizándolas de acuerdo a nuestras condiciones agroecológicas y los recursos con los cuales contamos, creemos pertinente plantear unas líneas de trabajo dentro de la ciencia de las malezas para el corto, mediano y largo plazo, bajo los principios del Manejo Integrado de Plagas, es decir, Regar en fases adelantadas del proceso a evaluar las tecnologías generadas, con los diferentes componentes existentes a nivel regional y/o local, dentro de las Unidades Pilotos que se deben establecer con especies cultivadas modelos.

La investigación en "malezas" puede ser separada en dos grandes categorías:

La primera categoría, es la investigación sobre los principios básicos de la ciencia de malezas, y que se refiere a la biología y ecología de arvenses. Estos estudios deben ser priorizados para que provean el conocimiento necesario para entender la problemática de las malezas. La primera línea de trabajo en este sentido serían los Estudios biológicos y ecológicos de especies arvenses.

El desarrollo de un sistema de manejo integrado de malezas es una tarea compleja, la cual debe ser soportada por un completo entendimiento de las dinámicas poblacionales de estas especies. Este análisis es también complejo. Cada población está compuesta de individuos en varios estados funcionales, interactuando uno a otro con poblaciones de otras especies y con el ambiente. Los investigadores deben tener en cuenta la mayor cantidad de detalles que provean un claro entendimiento de el sistema y también los alcances y disponibilidad de los recursos que se tienen.

Estudios a largo plazo: El método más simple para estudiar la dinámica de una especie, involucra monitoreos periódicos de un componentes o especie de la población por varios años. Por ejemplo, describir los efectos de las prácticas de manejo de malezas en una especie determinada. Estos estudios tienden a ser muy realistas.

Estudios demográficos: Estos pueden ser divididos en dos (2) fases : una activa (crecimiento de la planta) y otra pasiva (dormancia de semillas y banco de semillas del suelo). Estas dos fases pueden ser consideradas independientemente o estudiadas como un todo, ello dependería de nuestro propósito. Si estamos interesados en tener una descripción general de la población, deberíamos considerar todos los procesos demográficos involucrados en el ciclo con igual nivel de detalle. Si por el contrario, necesitamos un conocimiento profundo de una de las dos fases, deberíamos dedicar más atención a los procesos que tienen lugar en esa fase (tasa de flujo de individuos, emergencia, sobrevivencia, fecundidad, dispersión de semillas, banco de semillas).

Los estudios demográficos suministran un compromiso práctico entre la simplicidad de los estudios a largo plazo y la complejidad de los puramente mecanísticos. Estos pueden tener un considerable valor para trabajos analíticos y aún tienen uso para propósitos predictivos.

Estudios de análisis mecanísticos: Aunque los estudios demográficos ofrecen alguna información entre los procesos y factores que regulan el tamaño de la población, ellos no explican las fuerzas que conducen los cambios de la población, por ello hay necesidad de analizar la población a un nivel de complejidad mayor a través de los estudios mecanísticos. Aquí se

deberían considerar los procesos fisiológicos y ecológicos involucrados en el ciclo de vida. Estos estudios ofrecen considerable potencial para explicar y predecir propósitos, además estos son como un catalizador para la integración de diferentes grupos de investigación y diferentes temas del conocimiento. Tienen un limitante y es que los recursos son demasiado grandes, de allí los estudios serios acerca de la factibilidad de estos.

La segunda categoría, es la investigación en el manejo y tecnologías de herbicidas, la cual incluye los métodos de control preventivos, químicos, biológicos, culturales y otros. Igualmente, incluye las investigaciones relacionadas con la fisiología de herbicidas, especialmente la resistencia de especies vegetales a ciertos grupos químicos y el impacto de estos en la biología del suelo y sus decrecientes niveles de fertilidad.

4. RESISTENCIA A HERBICIDAS Y CONTROL BIOLÓGICO

Estas áreas de investigación en malezas, merecen ser tratadas de manera muy especial. La resistencia por cuanto es uno de los "nuevos" y serios problemas con los cuales cuenta la ciencia internacional de las malezas. El control biológico de malezas, por otro lado, se viene convirtiendo en la alternativa de mayor sostenibilidad a ser involucrada dentro de un programa de manejo integrado de plagas, ante la problemática planteada inicialmente.

Resistencia a herbicidas : Este es un proceso por el cual, el control de una especie vegetal con un determinado producto químico, se vuelve cada vez más difícil e ineficiente, resultado del uso continuado de ciertos grupos químicos o ingredientes activos de herbicidas, los cuales producen una presión de selección sobre ciertos biotipos vegetales que tienen la capacidad genética de tolerar la acción del herbicida.

Los primeros casos de resistencia se reportan desde 1970 en los Estados Unidos, debido al uso excesivo de herbicidas triazínicos. Aquí, se trata de una resistencia que resulta de una modificación en el mismo sitio activo del herbicida (SA).

En Colombia, el ejemplo más claro de este problema se presenta con la especie *Echinochloa colona*, un género de malezas muy frecuente en los campos de arroz. Esta, resultó con resistencia a propanil por el alto número de frecuencias y dosis utilizadas. Se cree que en esta vía se vienen sucediendo muchos casos y ya se comienza a hablar de resistencia de algunas especies de malezas a) diuron en cultivos de yuca del Valle del Cauca y a sulfonilureas en campos de arroz en el Tolima.

Con la estrategia de utilizar herbicidas de grupos químicos diferentes pero con el mismo mecanismo de acción para romper esa resistencia, surgieron evidencias de nuevas formas de resistencia, tales como la resistencia cruzada y la resistencia múltiple. Al menos dos modelos han sido desarrollados para predecir la aparición y dispersión de biotipos resistentes: El modelo de Maxwell (1987), el cual combina la demografía de las poblaciones de plantas y el modelo de Hardy-Weinberg (1988), que estima las proporciones de los genotipos R y S en las generaciones sucesivas. Estos ayudarán en el desarrollo de estrategias de manejo de Resistencia a herbicidas. Además, existen algunas metodologías nacionales desarrolladas por CIAT y otras compañías, con las cuales se pueden interactuar en proyectos concretos.

Control Biológico: El amplio interés en los sistemas de producción agrícolas sostenibles y el práctico conocimiento acerca del impacto ambiental asociado con las estrategias de control químico, han tendido a un alto interés en el control biológico de malezas.

El control biológico de malezas (CBM), es un método basado en sólidos principios ecológicos que usa enemigos naturales específicos de una planta considerada maleza, para disminuir o regular su

densidad, antes de que alcance niveles de daño económico. El Control biológico, además de ser eficaz, puede proveer un control razonablemente permanentes y barato, a la vez que es selectiva, no contaminantes y compatible con otras estrategias de supresión. Dos de los éxitos más sobresalientes, el control de *Opuntia* spp por la polilla *Cactoblastis cactorum* (Berg) en Australia y la supresión de *Hypericum perforatum* L. Por *Chrysolina* spp en California, incentivaron la adopción y utilización del CBM en varias partes del mundo.

Desde el punto de vista económico, por ejemplo en Canadá en el año 1980, consideraron que el costo de un programa de control biológico ha sido estimado en aproximadamente US\$ 1.8 millones, cifra que aunque alta, puede ser una alternativa barata y efectiva en comparación con un costo estimado en US\$ 10 millones, para el desarrollo de un herbicida. Además, se deben agregar los costos adicionales por la aplicación recurrente del herbicida.

En una revisión hecha por Juhén (1992), listó unos 610 proyectos de control biológico de malezas en el mundo. Estos involucraban unas 94 especies en 53 países. Algunos han sido exitosos, mientras que un 35% de ellos no han alcanzado los resultados positivos deseados. Posiblemente la causa principal ha sido, la gran diversidad genética en las especies objeto de estudio, el grado de adaptación o compatibilidad de los agentes de control en el genotipo de malezas y la oportunidad de predación o parasitismo del agente en el ambiente al cual ha sido introducido (control clásico). Pero, la biología molecular puede brindar herramientas para cuantificar la diversidad genética de malezas y la interacción entre los enemigos naturales con la especie objeto.

Los procedimientos para llevar a cabo un programa de CBM han sido propuestos por Wapshere (1974) y Goeden (1974, 1977), e incluyen los siguientes pasos: a) determinar si la maleza es apropiada para ser controlada biológicamente; b) realizar prospecciones de biorreguladores de la maleza en su nuevo hábitat c) revisión de literatura, prospección, evaluación e identificación de agentes bióticos que atacan a la maleza y de especies taxonómicamente cercanas a ésta, en su tierra de origen; d) estudio de especificidad de los biorreguladores para determinar su rango de hospederos y seguridad; e) pruebas de confirmación de especificidad de los agentes en cuarentena doméstica, f) liberación de los enemigos naturales más específicos- g) evaluación de establecimiento y eficacia; h) redistribución de agentes a otras áreas.

La determinación de la especificidad y rango de hospederos es el procedimiento mas importante de un proyecto de CBM. El método actualmente utilizado para determinar especificidad, es el de centrifugación filogenética, propuesto por Zwolfer y Hanis (1971) y Wapshere (1974). Recientemente Wapshere (1989) ha revisado y complementado los criterios usados para la determinación del rango de hospederos mediante la proposición del método de secuencia de prueba revertida.

El creciente interés en la utilización de alternativas biológicas de control de malezas, tiene relación, entre otras causas, con el aumento de la resistencia de las plantas a los herbicidas en las décadas pasadas.

Frente a la propuesta anterior, los especialistas en malezas no deben estar solos, se debe ampliar la visión, involucrando equipos de trabajo inter y transdisciplinarios (genetistas, mejoradores tradicionales, microbiólogos, entomólogos, patólogos, especialistas en suelo y biólogos moleculares), que actúen de manera armónica y coordinada con objetivos claros y concretos para todos, con plena conciencia y responsabilidad de su papel en el grupo, liderando el desarrollo de herramientas que plantean nuevos sistemas de producción de cultivos.

Esto por supuesto no es fácil, ya que para lograr cualquier avance se requiere de trabajos de investigación serios, consistentes, continuados, integrantes que a su vez resultan prolongados,

agitados y costosos. Esto se toma aún más difícil en una sociedad que también requiere de soluciones prácticas a corto plazo, las cuales a veces resultan "más atractivas" para quienes tienen la función y responsabilidad de asignar y distribuir los fondos.

Otro reto, que surge para los investigadores en este contexto, es el de traducir los resultados de la investigación básica y especializada en métodos prácticos de manejo de plagas y desarrollar estrategias que faciliten y posibiliten su adopción por parte del agricultor.

Lo anteriormente descrito, debe ser desarrollado bajo una estrategia modelo que se convierta en la base de la formulación y desarrollo de proyectos de investigación. Esta estrategia incluye: definición y caracterización del problema; generación de conocimientos; desarrollo de componentes de manejo; evaluación de los componentes-unidades pilotos de adaptación; divulgación, difusión y adopción.

5. BIBLIOGRAFÍA

1. ALTIERI, M.A. & W.H. WHITCOMB 1979. The potential use of weeds in the Manipulation of Beneficial Insects. *Hortscience*, 14(1):12-18.
2. ALTIERI, M.A. 1983. Agroecología: Bases Científicas de la Agricultura alternativa. CETAL. pp: 127-187.
3. ALTIERI, M.A. & M. LIEBMAN. 1988. Weed Management in Agroecosystems: Ecological Approaches. C.R.C. Press Inc. Boca ratón, Florida (U.S.A.). 353 p.
4. ALTIERI, M.A.; A. VAN SHOONHOVEN & J. DOLL. 1977. The ecological role of weeds in insect pest management systems: a review illustrated with bean (*Phaseolus vulgaris*) cropping systems. *PANS*, 23:185-205.
5. ALTMAN, J and C.L. CAMPBELL. 1977. Effect of Herbicide on Plant Diseases. *Annual Review of Phytopathology*, 15:361-385.
6. BAKER, H.G. 1974. The evolution of weeds in: R.F. Johnson, ed *Annual Review of Ecology and Systematics*, Annual Reviews, Palo alto, Ca. U.S.A. pp:1 24.
7. BANTILAN, et. al. 1974. Integrated Weed Management. 1. Key factors affecting crop-weed balance. *Philippine Weed Sci Bull*, 1: 14-36
8. BUCHANAN, G.A. & R.E. FRANS. 1979. The role of weeds in agroecosystems. *Proceedings of Symposium. IX International Congress of Plant Protection. Washington, D.C. Vol. I*
9. CAYON, G. 1992 Propuesta: Estado de arte, Area de Fisiología y Manejo de Malezas. mimeo. 12 p.
10. CORPORACION COLOMBIANA DE INVESTIGACION AGROPECUARIA CORPOICA, 1993. Estado de desarrollo de la Investigación en Manejo Integrado de Plagas - MIP. Documento de Trabajo. Santafé de Bogotá, D.C. 137 p.
11. DELOACH et al. 1989. Control Biológico de malezas. posibilidades de su aplicación en la Argentina extensivas a otros países de Sudamérica templada. Edit. El Ateneo. Buenos Aires, Argentina. 266 p.

12. di CASTRI, F. 1989. History of Biological invasions with special emphasis on the old world, in: A. DRAKE, H.A. Mooney, G. di Castd, R. Groves, F.J. Kruger, M. Rojmanek, and M. Williamson, eds. *Biological Invasions: A. Global Perspective*. Wiley, New York. (U.S.A.).
13. FISHER, A.J. 1995. Desarrollo de Resistencia a Herbicidas en Poblaciones de malezas. Doc mimeo. CIAT. Programa de Arroz. Palmira (Valle) Colombia. 12 p.
14. GARRO, J.F. et al. 1991. Propanil resistance in populations of jungledce (*Echinochloa colona*) in Colombian rice fields. *Weed Science*, 41:201-206.
15. GHERSA, C.M.; M.L. ROUSH. S.R. RADOSEVISH & S.M. CORDAY. 1994. Coevolution of Aeroecosystems and Weed Management. *Bioscience*, 44:8594
16. GLIESSMAN, S.R. et al. 1981. The ecological basis for the application of traditional agricultural technology in the management of tropical agro-ecosystems. *Agro-Ecosystems*, 7:173-185.
17. GOEDEN, R.D. 1978. Biological Control of Weeds. In: C.P. Clausen (Ed) 1978. pp:357-415.
18. GOEDEN, R.D. et. al. 1974. Present status of Projects on the Biological Control of Weeds with Insects and Plant Pathoseno in the United States and Canada. *Weed Science*, 22(5):490-495.
19. HARLAN, J.R., and J.M. de Wet. 1965. Some Thoughts about weeds. *Econ. Bot.* 19:16-24.
20. HARPER, J.L. 1977. *Population Biology of Plants*. Academic Press, New York. 892 pp.
21. HASAN, S. 1988. Biocontrol of weeds with Microbes. Vol II. In: *Biocontrol of Plant Disease Vol. 11*. Chapter 9. C.R.C. Press, Boca ratón, Florida (U.S.A.).
22. INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE. 1967. The major insect pests of the rice plant. Proceedings of a symposium at the International Rice Research Institute. September, 1964. The Johns Hopkins Press, Baltimore, Maryland (U.S.A.). 729 p.
23. MESSERSMITH, C & S.W. ADKINS. 1995. Integrating Weed - feeding Insects and Herbicidas for Weed Control. *Weed technology*, 9:199-208.
24. NORRIS, R.F. 1994. The role of weeds in Integrated Pest Management. University of California, Davis, (U.S.A). In: XXI Congreso Sociedad Colombiana de Entomologia, Medellin pp:63-103.
25. PATHAK, M.D. 1968. Ecology of Common insect pests of rice. *Annual Rev. Entomol*, 13:257-294.
26. ROSENTHAL, S.S., D.M. MADDOX & K. BURNETTI. 1984. *Biological Methods of Weed Control*. Monograph No. 1. California Weed Conference, Thompson Publication, Fresno, CA. 88 p.
27. SALISBURY, E.J. 1961. *Weeds and Allens*. Collins London U.K.
28. SMITH, R.J. & A.M. BALTAZAR. 1992. Control of propanil tolerant barnyardgrass. *Weed Science Soc. Am. Abstracts*, 32:21.
29. SWANTON, C and S.F. WEISE. 1991. Integrated Weed Management: the Rationale and Approach. *Weed Technology*, 5:617-663

30. THILL, D. et al. 1991. Integrated Weed Management. - A. Component of Integrated Pest Management: A Critical Review. *Weed technology*, 5:648-656.
31. TRIPATHI, R.S. 1977. Weeds Problems - an ecological perspective. *Trop. Eco.* 18:148.
32. VAN EMDEN, H.F. 1965. The role of Uncultivated land in the biology of crop pests and beneficial insects. *Scientific Hort*, 17:121-136
33. WAPSHERE, A.J. et al. 1988. Recent Developments in biological control of weeds. CSIRO Division of Entomology, Canberra, Australia. pp:227-250.
34. WAPSHERE, A.J. 1974. A strategy for evaluating the safety of organisms for biological weed control. *Annals of Applied Biology* 77:201-211.
35. WAPSHERE, A.J. 1989. A testing sequence for reducing rejection of potential biological control agents for weeds. *Annals of Applied Biology*, 114:515-526.
36. WYSE, D.L. 1992. Future of Weed Science Research. *Weed Technology*, 6:162 - 165
37. ZWOLFER, H & P. HARRIS. 1971. Host specificity determination of insects for biological control of weeds. *Annual Review of Entomology*, 16:159-178.

ASPECTOS AGROMETEOROLOGICOS DEL MANEJO INTEGRADO DE PLAGAS

J. Francisco Boshell V.
Universidad Nacional de Colombia

1. LA METEOROLOGÍA Y "LAS PLAGAS" VEGETALES

A lo largo de las últimas dos décadas se han venido produciendo importantes cambios conceptuales y operacionales en el manejo de las enfermedades e insectos que afectan los cultivos.

Es así como se ha evolucionado desde un enfoque eminentemente "guerrerista", en el cual tan pronto se reconocía la presencia de cantidades o daños incipientes del organismo extraño en el cultivo, la llamada "plaga", se iniciaba una cadena de aplicaciones de agroquímicos para su utópica destrucción total, hasta un concepto más integral, bajo el cual se aceptan diversos márgenes de tolerancia a su presencia y se aplican nuevas prácticas para su manejo, como las biológicas, que han recibido un gran respaldo.

No obstante, el conocimiento de las condiciones meteorológicas y micrometeorológicas que favorecen o inhiben el desarrollo de las "plagas" en cada zona agrícola, y más aún, la utilización de técnicas agrometeorológicas para la toma de decisiones acerca de las épocas y formas de realizar los controles, han sido dejados de lado en todo el proceso, ocasionando con ello importantes errores en el mismo.

Existe una relación muy estrecha entre las condiciones meteorológicas que prevalecen en una zona y el desarrollo de los distintos organismos externos que afectan los cultivos. Esta relación se evidencia si se considera que las condiciones ambientales influyen en aspectos como: a.-la cantidad de inóculo que persiste en una zona de una temporada agrícola a otra; b.-El momento de aparición del organismo en el cultivo; c.-Su tasa de reproducción y desarrollo; d.-Su diseminación de un cultivo o de un sector a otro; e.-La duración y eficacia de la acción de los agroquímicos.

Las relaciones existentes entre las condiciones meteorológicas que favorecen a una determinada "plaga" y las condiciones meteorológicas de una región en particular, se pueden examinar bajo tres circunstancias :

Cuando los requerimientos meteorológicos de "la plaga" no se presentan en la región (caso A).

Cuando los requerimientos meteorológicos del organismo dañino se cumplen siempre en la región (caso B).

Cuando los requerimientos meteorológicos de "la plaga" se registran periódicamente en la región (caso C).

En el caso A el rango ambiental favorable para "la plaga" está completamente afuera del rango de condiciones que se dan en la región y por consiguiente el organismo no prosperará. Esta conclusión es muy útil para fines de planificación, manejo del cultivo y para delimitar los límites naturales de impacto.

En el caso B se deduce que sin importar las características del estado del tiempo, las condiciones ambientales serán siempre favorables para el organismo. En estas circunstancias el factor meteorológico no es tan importante y la contribución del agrometeorólogo en lo relacionado con el manejo del organismo no es muy apreciable.

Es en el caso C cuando mayor puede llegar a ser el aporte del agrometeorólogo, ya que en esta situación es muy importante predecir los momentos favorables para la aparición y desarrollo de "la plaga", los cuales dependerán de las condiciones meteorológicas.

Aun cuando existen importantes diferencias en el "*modus operandi*" de los insectos y las enfermedades, lo cual determina la selección de la técnica más apropiada para el manejo de cada caso específico, las siguientes reflexiones del Profesor Germán Tovar ante el XIII Congreso de la Asociación Colombiana de Fitopatología y Ciencias Afines, ilustran de manera muy acertada las áreas en las cuales la agrometeorología se debe insertar en el campo global del manejo integrado de "plagas":

"La epidemiología como ciencia busca, entre otros propósitos, estimar el potencial de riesgo debido a enfermedades económicamente importantes, por cuanto es posible definir en función del medio ambiente un nivel de resistencia para el cual los riesgos de pérdidas sean bajos o nulos. Si el riesgo de epidemias es bajo, puede ser posible seleccionar estrategias donde se combinen variedades o líneas más productivas con niveles de resistencia intermedios...

...La marcada tendencia hacia la aplicación de controles químicos innecesarios y de aquellas de tipo calendario se relacionan con una pobre o nula investigación epidemiológica, con la ausencia de entrenamiento técnico por carencia de recursos humanos y físicos y con una formación profesional deficiente o desactualizada...

...Tanto los técnicos como los productores deberán asimilar que todos los años no son epidémicos y que la conducta de aplicar siempre y repetidamente es una actitud ciega, y que más nocivo y peligroso que la enfermedad en sí misma, es actuar sin pensar y sin comprender. Por tanto hay urgencia de entender que una cantidad de daño subeconómico es tolerable" (1).

Con base en todas las aseveraciones previas, se analizarán a continuación las dos grandes áreas de acción de la agrometeorología en el manejo integrado de "plagas": I.- en la evaluación de los niveles de riesgo temporales y territoriales, y II.- en la toma de decisiones acerca del momento de realizar los controles químicos o biológicos.

2. ASPECTOS AGROMETEOROLÓGICOS DE LA DEFINICIÓN DE LOS NIVELES DE RIESGO, EN EL MANEJO INTEGRADO DE "PLAGAS"

Tal como se ha indicado en el capítulo previo, las condiciones meteorológicas inciden tanto en las épocas dentro del año, como en los sectores dentro de una región en los cuales se presentan los ataques de diversas "plagas".

Si se considera que las condiciones meteorológicas varían tanto a lo largo del año, como entre una zona y otra, se deduce que es necesario confrontar los requerimientos climatológicos de cada "plaga" de importancia económica actual o potencial, contra las condiciones climáticas locales. Solo así será posible valorar los niveles de riesgo que existen para la supervivencia y el desarrollo de la "plaga".

A continuación se presentan dos casos que permiten ilustrar de manera adecuada lo antes expresado.

2.1. El añublo de la vaina del cultivo del arroz, producido por el hongo *Rhizoctonia solani*, ha sido considerado en los últimos años como uno de los fitopatógenos de mayor importancia, pues es responsable de por lo menos dos aplicaciones de productos químicos para su control, en el sur del Tolima.

La incidencia y la severidad del *Rhizoctonia* están influenciadas por factores como la densidad de la siembra, la fertilización, la profundidad de la lámina de agua y otras prácticas de manejo del cultivo. Cada uno de estos elementos interactúa de una u otra forma con los elementos ambientales, que en realidad son los que rigen el desarrollo del patógeno.

Bajo condiciones ambientales favorables el desarrollo horizontal del hongo es rápido. El desarrollo vertical ocurre solamente después de la fase de paniculación y bajo condiciones meteorológicas favorables al hongo. Si aquellas no son propicias después de la paniculación, las lesiones solo aparecen en las vainas inferiores.

El estudio más completo acerca del efecto de las condiciones meteorológicas sobre el hongo fue desarrollado por T. Hashiba (2) en el Japón, en el cual se determinó el efecto de la temperatura del aire y la humedad relativa promedias de cada día, así como del estado de desarrollo de la planta, sobre el avance vertical diario del patógeno.

Tomando como referencia el estudio de Hashiba, Boshell y Guzmán (3) desarrollaron un modelo agrometeorológico de simulación del desarrollo de la enfermedad para el sur del Tolima. En una primera etapa del trabajo se evaluó el potencial de riesgo a la enfermedad en diversas zonas arroceras del país.

La investigación original de Hashiba demostró que la humedad relativa tiene el mayor impacto sobre el avance vertical del patógeno, a tal punto que éste avanza aceleradamente cuando la humedad relativa media diaria es superior al 84%.

Por las dificultades y los costos de evaluar los datos históricos diarios de lugares distintos al sitio objeto del estudio (Saldaña), se analizó la humedad relativa media mensual de seis estaciones meteorológicas ubicadas estratégicamente en zonas arroceras importantes del país (véanse la Tabla 1 y la Figura 1).

Se determinó que existen diferencias muy importantes tanto en los valores como en la distribución mensual de la humedad relativa en los lugares considerados, lo que sin duda afecta de manera notoria la presencia y la evolución de la enfermedad. En la Costa Atlántica (Cesar) y en los Llanos Orientales (Casanare y Meta) la humedad relativa es mayor a mediados del año, época en la cual aquella, por el contrario, decrece en el interior del país (Tolima, Huila) y en Norte de Santander.

Tabla 1. Humedad relativa media (%)

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ag	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
S. Alberto, Cesar	76	78	74	76	79	80	79	78	87	81	82	78	78
Aguazul, Casanare	68	69	71	81	79	84	84	84	82	81	80	77	78
P. Gaitán, Meta	70	65	69	79	85	88	87	86	85	83	80	76	79
Espinal, Tolima	70	70	74	77	80	76	66	61	65	75	79	79	73
Cúcuta, N. Snder	73	71	71	74	69	63	62	61	64	70	75	76	69
Neiva, Huila	67	66	67	71	69	64	57	55	57	67	74	72	66

Tabla 2. Días con Humedad relativa media >80 (%)

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ag	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
La Gloria, Cesar	19	15	9	42	49	44	28	37	58	64	78	36	40
V/vicencio, Meta	9	12	22	53	68	77	73	61	43	49	57	36	47
Ibagué, Tolima	17	26	37	46	52	25	13	7	14	56	56	44	33
Saldaña, Tolima	11	16	20	37	36	12	56	4	11	24	33	40	21

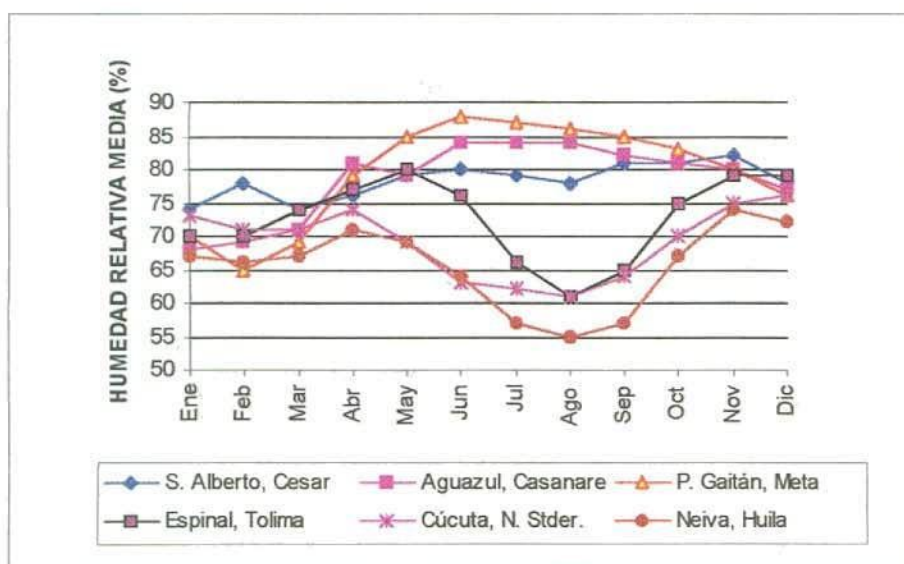


Figura 1. Distribución intra anual de la humedad relativa en diversas zonas arroceras

Desde el punto de vista territorial, la humedad relativa alcanza los mayores valores medios mensuales (superiores al 80%) en el Meta y en Casanare, lo que sugiere que allí el patógeno puede ocasionar los mayores daños. Desde una "óptica" temporal, en el Huila, el Tolima y Norte de Santander, los valores medios de humedad relativa que se registran entre junio y septiembre son inferiores al 65%, lo cual da a entender que en tales épocas la enfermedad no tiene las condiciones ambientales necesarias y por ello un eventual programa de control, ya sea químico o biológico sería innecesario en la mayoría de los años en tal período.

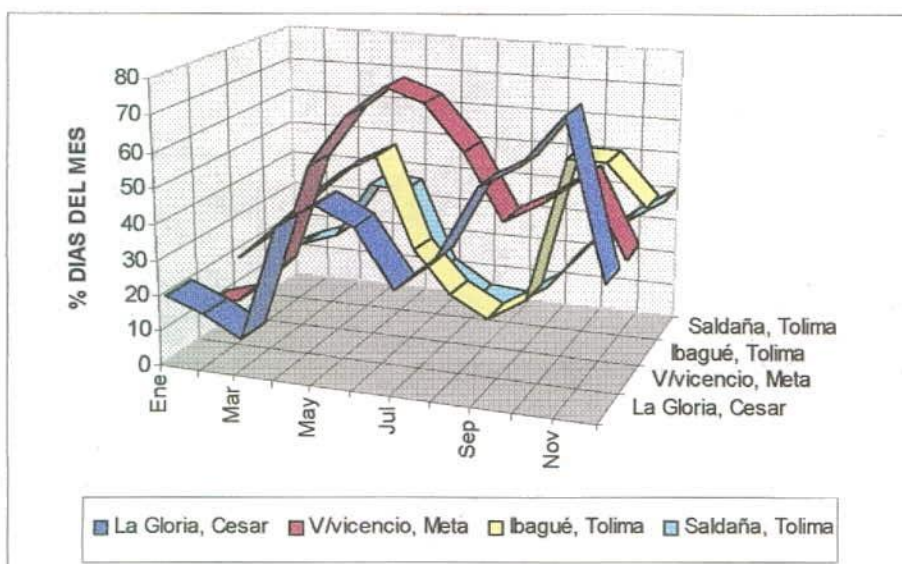
Lo anterior se refleja en la Tabla 3, en la que se hace un resumen de la "favorabilidad" climática para la enfermedad en los distintos sitios analizados, a lo largo del año. Los niveles de riesgo se calcularon con base en el siguiente criterio: los valores medios mensuales de humedad relativa inferiores al 70% corresponden a un nivel de riesgo bajo, los valores entre el 71 y el 80% a un nivel de riesgo medio y los valores superiores al 80% a niveles altos de riesgo.

Tabla 3. Favorabilidad climática para la enfermedad *Rhizoctania solani* en diversas zonas arroceras

Municipio/Dpto.	En	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ag	Sep	Oct	Nov	Dic
S. Alberto, Cesar	Media	Media	Media	Media	Media	Alta	Media	Media	Alta	Alta	Alta	Media
Aguazul, Casanare	Baja	Baja	Media	Alta	Media	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Media
P. Gaitán, Meta	Media	Baja	Baja	Media	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Media
Espinal, Tolima	Media	Media	Media	Media	Alta	Media	Baja	Baja	Baja	Media	Media	Media
Cúcuta, N. Stder	Media	Media	Media	Media	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Media	Media	Media
Neiva, Huila	Baja	Baja	Baja	Media	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Media	Media

1. Riesgo bajo de ataque
2. Riesgo medio de ataque
3. Riesgo alto de ataque

Figura 2. % Días con humedad relativa media >80%



Se destaca que en los Llanos se presenta el mayor número de meses con alto riesgo para un avance significativo de la enfermedad (7 meses), mientras que en Norte de Santander y el Huila no se registra ningún mes de alto riesgo.

Como la humedad relativa media mensual no permite obtener mayores informes acerca de la distribución de los valores diarios dentro de cada mes, se analizó también el porcentaje de días con valores mayores al 80% en cada mes, con resultados que se aprecian en la Tabla 2 y en la Figura 2. Se observa que en el Cesar los meses más críticos para la enfermedad son octubre y noviembre, cuando una humedad relativa superior al 80% ocurre entre el 60 y el 80% de los días. En tales meses sí es justificable la adopción de programas de control biológico o químico de la enfermedad.

De todo lo anterior se desprende que es completamente irrazonable que la enfermedad se maneje con criterios similares tanto a lo largo del país como a lo largo del año, ya que, como se ha demostrado, las condiciones meteorológicas varían de manera apreciable y con ello los niveles de riesgo de avance de la enfermedad.

2.2 En lo relacionado con los niveles de riesgo de ataques de insectos, es necesario tomar en cuenta las características del ciclo biológico de la "plaga" objeto de análisis y de los requerimientos meteorológicos de cada etapa del ciclo.

Por ejemplo, en un estudio realizado en Europa se determinó que las condiciones de abundante precipitación durante las primeras fases (huevo, larva y pupa) del gusano tierrero (*Agrotis spp*) reducen de manera drástica los niveles de ataque que se registran. Se estableció que la elevada humedad del suelo (excesos hídricos superiores a 10 mm mensuales) ocasiona altas tasas de mortalidad en la "plaga" al inicio de la fase de larva, así como en la fase de pupa y durante la emergencia de ella (4).

No obstante, la influencia de la alta humedad del suelo sobre las larvas, se ve minimizada cuando la temperatura del aire es tan elevada que acelera de manera significativa la tasa de crecimiento de aquellas y tal fase, que es crítica para un control "ambiental", se supera con mucha rapidez.

Para el caso del manejo del tierrero en cultivos como maíz, frijol, sorgo y soya, en los departamentos del interior del país (Tolima, Huila y Valle del Cauca), las anteriores consideraciones implican que en las siembras de abril y mayo, cuando en general se inicia la primera temporada de lluvias y se suelen registrar condiciones de elevada humedad del suelo, se incrementa la posibilidad de un adecuado control ambiental del insecto.

Por el contrario, las probabilidades de ataque del insecto serán mayores en los cultivos sembrados en meses como marzo, en el primer semestre, y en agosto, en el segundo, cuando una baja humedad del suelo y las mayores temperaturas del aire en general tienden a favorecer la ocurrencia de mayores niveles de ataque.

3. Aspectos agrometeorológicos involucrados en la toma de decisiones acerca del momento de realizar los controles químicos o biológicos

Las discusiones del anterior capítulo se referían a la estimación de los niveles de riesgo de ataque de las "plagas", con base en análisis de índole climatológica, o sea en datos históricos de varios años. Ello es fundamental para la adecuada planificación del manejo integrado de aquellas en las zonas de interés.

No obstante, las condiciones meteorológicas varían de un año a otro y por ello es de particular importancia el análisis de los sistemas o modelos agrometeorológicos para el manejo eficiente de las "plagas", una vez se ha sembrado.

Para tal fin se ilustran a continuación dos casos, a manera de ejemplo.

3.1. La gota o tizón tardío de la papa, *Phytophthora infestans*, está considerada como la enfermedad más importante que afecta a este cultivo a nivel mundial.

Dado que las medidas preventivas de control, cuando se aplican en forma precisa, presentan ventajas de tipo económico y como el uso de productos de tipo preventivo evita que la enfermedad se desarrolle y se expanda en un área dada, se puede concluir que la utilización de modelos agrometeorológicos para su predicción reviste una alta importancia.

Las lesiones que ocasiona el patógeno en las hojas son muy variadas, dependiendo de la temperatura del aire, la humedad relativa, la intensidad de la luz y de la variedad del cultivo que se siembre. Los síntomas iniciales típicos son unas manchitas pequeñas de color verde claro a verde oscuro, de forma irregular.

Bajo condiciones favorables de medio ambiente, las lesiones progresan convirtiéndose en lesiones necróticas grandes de color castaño a negro púrpureo, que pueden causar la muerte de los folíolos y diseminarse por los peciolos hacia el tallo, matando eventualmente la planta íntegra.

Cuando persiste una alta humedad relativa, se forma un mildiu veloso constituido por esporangios y esporangióforos en el borde de las hojas. Después de que la planta emerge, el hongo invade algunos de los brotes en desarrollo y esporula siempre que las condiciones de humedad sean favorables, produciéndose así el inóculo primario. Una vez realizada la infección primaria, la diseminación se realiza por medio de los esporangios que son transportados por el agua y por el viento.

Las anteriores condiciones se han resumido en "modelos climáticos" de la enfermedad, entre los cuales se puede mencionar el siguiente, que ha sido utilizado en países como Irlanda y Uruguay para el monitoreo y pronóstico de la enfermedad (5) :

El ciclo del hongo se activa cuando ocurre un período mínimo de 12 horas consecutivas con temperaturas del aire entre 10 y 25°C, con una humedad relativa mayor o igual al 90% y se registra una precipitación > 1 mm en dicho período, lo cual repercute en condiciones de hoja mojada que favorecen la germinación de las esporas y la reinfección. Si no se registra precipitación en el período, entonces se debe presentar un lapso mínimo de 16 horas consecutivas con temperaturas del aire entre 10 y 25°C y con una humedad relativa mayor o igual al 90%, para que se desarrolle la enfermedad.

De acuerdo con dicho modelo siempre que se cumpla una de las dos condiciones anteriores, habrá "un período favorable" para la enfermedad, el cual se extenderá hasta que la humedad relativa o la temperatura del aire adquieran valores distintos a los antes anotados. Se requieren de 3 a 5 generaciones sucesivas del hongo para que el mismo se propague hasta alcanzar niveles de riesgo para el cultivo.

Otro modelo agroclimático utilizado para el seguimiento y el pronóstico de la gota de la papa ha sido desarrollado en los Estados Unidos con base en los estudios realizados por J. R. Wallin y R. A. Hyre, y comercializado bajo el nombre de "Blitecast", con muy buenos resultados prácticos (6). La versión gráfica de una parte del modelo se presenta en la Figura 3.

De acuerdo con el modelo se recomienda "considerar" una primera aplicación de agroquímicos para el control del hongo, cuando ocurre una de las dos situaciones siguientes : a.- en un período de 10 días consecutivos la lluvia total excede los 30 mm y el promedio de la temperatura es inferior a 25.5°C ; b.- el "índice de severidad acumulada" (ver Figura 3) supera el límite de 18 unidades.

Con respecto a la segunda situación anotada, por ejemplo cuando se registra una elevada humedad relativa, superior al 90%, durante 19 horas continuas y una temperatura media de 21°C, se asume que se genera una probabilidad muy alta de infección y se asignan 4 unidades al índice de severidad en tal fecha. Por el contrario, un día no propicio para la evolución de la enfermedad ocurre cuando, por ejemplo, se presentan solo 2 horas con humedad relativa superior al 90%, lo cual repercute en un valor del índice igual a 0 unidades.

Las recomendaciones subsiguientes sobre eventuales aplicaciones de agroquímicos se realizan de acuerdo con la evolución semanal de los índices de severidad y de las condiciones de la precipitación.

Se deduce que en este caso, al igual que en numerosos otros relacionados con enfermedades fúngicas, la utilización de agroquímicos solo se justifica luego de un cuidadoso análisis de las condiciones de precipitación, humedad relativa y temperatura del aire prevaletentes. Por tal

razón se puede expresar que numerosas aplicaciones de fungicidas son completamente innecesarias, pues se realizan cuando las condiciones ambientales no son propicias para el avance de las enfermedades.

3.2. En relación con el estudio del añublo de la vaina del cultivo del arroz, *Rhizoctonia solani*, mencionado en la sección 2.1, a continuación se ofrecen detalles acerca del modelo agrometeorológico de predicción desarrollado en Saldaña, Tolima.

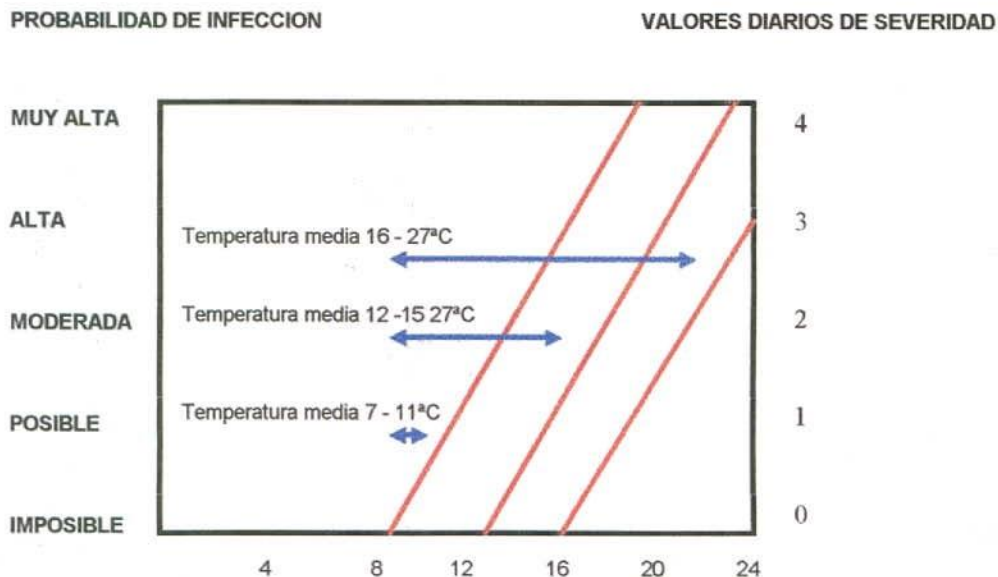


Figura 3. Relación entre la duración de períodos de alta humedad relativa (con temperaturas indicadas) y la probabilidad de ocurrencia de goma de la papa, *Phytophthora infestans*.

Con el fin de parametrizar el efecto de las condiciones meteorológicas sobre el hongo y teniendo en cuenta los excelentes resultados obtenidos por R. Hashiba en el Japón, se decidió verificar su comportamiento bajo las condiciones agrometeorológicas de Saldaña e introducir los ajustes que fuesen necesarios para su uso operacional.

Se realizaron 11 siembras con la variedad Oryzica 3, en diversos períodos entre julio de 1992 y abril de 1993. Las siembras se realizan en parcelas de 50 m² al voleo con semilla seca tapada, con una densidad de siembra de 250 Kg/ha. Se sembró con tres repeticiones.

Para las evaluaciones de la enfermedad se marcaron 50 plantas/parcela a partir de los 30 días de germinación, realizando evaluaciones cada 20 días. En las plantas se tomaron los siguientes parámetros: altura de planta, altura de lesión, y longitud de lesión. Además en el momento de la recolección se tomaron muestras de 1 m²/parcela para evaluar el grado de severidad, de acuerdo a la escala estándar del IIRI (0-9). Asimismo se determinó el porcentaje de incidencia y el rendimiento dentro de dicho marco. El rendimiento luego se llevó a Kg/ha, al 14% de humedad.

Se evaluaron los registros meteorológicos diarios de la estación Jabalcón - IDEAM, ubicada a 5 Km del centro experimental "Las Lagunas" en Saldaña. En los dos sectores prevalece un régimen meteorológico similar, lo cual se constató a través de mediciones periódicas con sicrómetros portátiles del tipo Assman.

Se determinó que el valor mínimo (umbral) de la humedad relativa medida en el abrigo meteorológico, a partir del cual micelio del patógeno se activa en la zona de Saldaña es el 76%. Este hecho es significativo, por cuanto el modelo original de Hashiba (Japón) considera un umbral de humedad relativa del 84%, en el cultivo. En la Tabla 4 se aprecian las altura finales de la lesión en las plantas, así como las alturas estimadas a través del modelo agroclimático con diversos umbrales de humedad relativa y se aprecia que con el umbral del 76% se registran las menores diferencias absolutas entre alturas de lesión medidas y simuladas.

El modelo agroclimático simula de manera acertada el avance vertical del hongo en el campo, cuando se utiliza el umbral del 76% para la humedad relativa (Figura 4). Se realizó el análisis estadístico de bondad de ajuste (prueba de t) entre los datos de avance vertical del patógeno observados en el campo y los simulados por el modelo así modificado, con resultados favorables (Tabla 5).

Con base en tales resultados, se pudo establecer el modelo agrometeorológico definitivo para la simulación del efecto del clima en el avance vertical del hongo, el que integra las condiciones de temperatura y humedad relativa definidas en la Tabla 6.

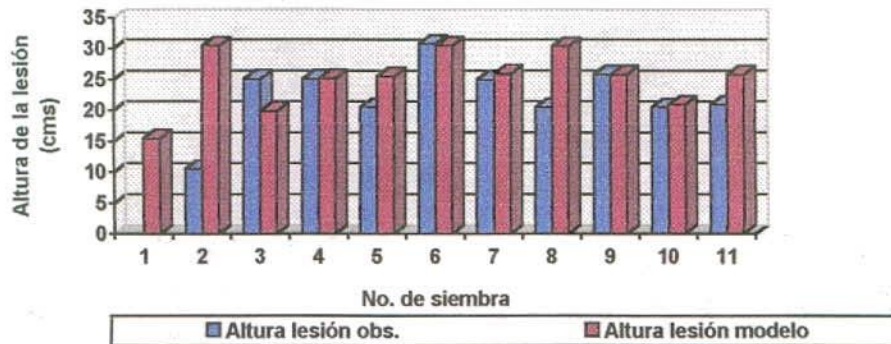


Figura 4. Altura de la lesión observada en el campo vs Altura de la lesión estimada por el modelo agrometeorológico

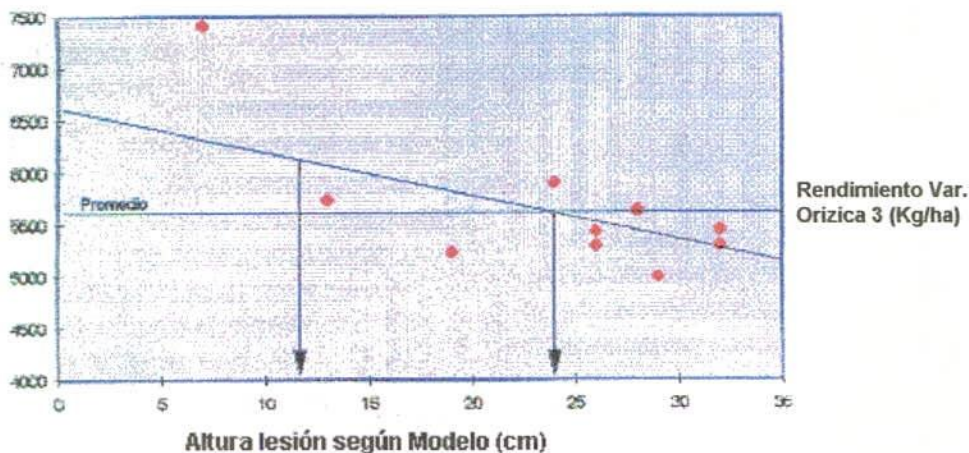


Figura 5. Relación Altura Lesión - Rendimiento del cultivo

Se evaluó el impacto de varios indicadores epidemiológicos (altura observada de la enfermedad en la planta, altura del hongo según el modelo agrometeorológico, incidencia y severidad) sobre los rendimientos del cultivo en las diversas siembras.

La matriz de correlaciones mostró que la variable: "Altura de lesión según el modelo", produjo el coeficiente de correlación más alto ($r = -0.74$, * 0.01 significancia) con respecto a los rendimientos, por lo cual se considera que aquella variable se puede utilizar en los estudios relacionados con la producción del cultivo. (Tabla 7).

En la Figura 5 se observa la recta de regresión que explica la correlación entre la altura de lesión y los rendimientos, así como la línea correspondiente al promedio de los rendimientos de las 11 siembras. Además se observa la altura de lesión que se intersecta con el promedio de los rendimientos y la altura de lesión que se intersecta con un rendimiento equivalente a la media más una vez la desviación estándar. Ello proporcionó la base para determinar los niveles de riego de la enfermedad con relación a la pérdida en rendimientos que ésta puede ocasionar.

Se determinaron los siguientes niveles de riesgo para la aplicación operacional del modelo: Una altura de lesión en la planta (por *Rhizoctonia*) inferior a 7 cm. corresponde a un nivel de riesgo muy bajo de daño; una altura entre 7 y 12 cm. corresponde a un nivel de riesgo bajo; entre 12 y 20 cm. a un nivel de riesgo medio; entre 20 y 24 cm a un nivel de riesgo alto y una altura superior a 24 cm. a un nivel muy alto de riesgo.

Los resultados alcanzados son válidos para la zona de Saldaña. Para áreas con condiciones climáticas distintas será necesario calibrar y ajustar en forma adecuada este tipo de modelo. Para facilitar su eventual utilización, el modelo agrometeorológico se programó en hoja electrónica (Quattro y Lotus).

El modelo agrometeorológico desarrollado para estimar el avance vertical del hongo ofrece un excelente potencial para la evaluación de la enfermedad en el campo. En conjunto con otros criterios de tipo agronómico permite a los asistentes técnicos tomar decisiones más acertadas acerca del manejo de la enfermedad.

Por ejemplo, cuando el modelo de la enfermedad no indique que se han alcanzado los 12 cm de altura de la lesión en la planta, no se debería considerar ningún tipo de control químico, refutándose los procedimientos tipo "calendario" para el control de la enfermedad.

Tabla 4. Comparación de la altura final de la lesión, según los datos de campo y los estimados por el modelo agrometeorológico, con diversos umbrales de la humedad relativa.

Alturas finales de la lesión (cm) Según:					
No. de siembra	Datos de campo	Modelo agrometeorológico con H.R. >= a:			
		74%	75%	76%	77%
1	16	13	10	7	4
2	18	21	16	13	10
3	22	30	25	19	16
4	25	41	33	26	19
5	21	40	33	26	20
6	34	48	40	32	26
7	25	43	36	29	22
8	21	44	37	32	27
9	27	39	33	28	22
10	22	34	28	25	19
11	22	37	31	28	20

Diferencias (en cm) entre las alturas de la lesión estimadas y reales

No. de siembra	Modelo agrometeorológico con H.R.>=a:			
	74%	75%	76%	77%
1	3	6	9	12
2	7	12	15	18
3	-8	-8	3	6
4	-16	-16	-1	6
5	-19	-19	-5	1
6	-14	-14	2	8
7	-18	-18	-4	3
8	-23	-23	-11	-6
9	-12	-12	-1	5
10	-12	-12	-3	3
11	-15	-15	-6	2
Diferencias medias entre los valores absolutos de las alturas reales y las estimadas por el modelo:	13	9	5	6
Diferencia máxima	-23	-16	15	18

Tabla 5. Prueba t para analizar significancia entre las series: Altura lesión observada y Altura lesión según modelo agrometeorológico.

Variable	No. casos		Media		Desviación Estándar		Error Estándar
Altura Observada	11		25.0908		4.929		1.486
Altura modelo	11		24.000		7.925		2.389
(Differ) Media	Standar Desviation	Standar Error	2-tail Corr	Prob	Valor t	Grados de Libertad	2-Tail Pro
1.0909	7.849	2.364	0.328	0.325	0.46	10	0.654

Hipótesis nula "Los promedios de las dos series no son significativamente diferentes"

El valor de t es bajo (0.46), menor al detallado en las tablas correspondientes para 10 grados de libertad, y la probabilidad de error si se rechaza la hipótesis nula es alta (0.654).

4. BIBLIOGRAFIA

1. Tovar, G. 1992. Hacia una búsqueda de nuevos conceptos y paradigmas para la investigación epidemiológica en cultivos tropicales. Memorias del XIII Congreso de la Asociación Colombiana de Fitopatología y Ciencias Afines. Villavicencio : 19 - 31.
2. Hashiba, T. 1984. Forecasting model and estimation of yield loss by rice sheath blight disease. JARQ (Japan). 18 (2) : 92-98.

3. Boshell, J. F. y M. P. Guzmán. 1994. Estudio agrometeorológico del añublo de la vaina (*Rhizoctonia solani*) en el cultivo del arroz. Informe final del Proyecto HIMAT - Fedearroz. Remitido a la Asociación Colombiana de Fitopatología y Ciencias Afines. 40 pp.
4. Mikkelsen, S.A. y P. Esbjerg. 1983. Linear regression models for the effect of climatic factors on the level of attack by *Agrotis segetum*. EPPO Bulletin. 13 (2) : 193 - 200.
5. Boshell, J. F. y S. Bello. 1981. Estudio del tizón tardío de la papa en el Uruguay. Publicación interna de la Dirección Nacional de Meteorología. Montevideo. 15 pp.
6. MacKenzie, D.R. 1981. Scheduling fungicide applications for potato late blight with BLITECAST. Plant Disease 65 : 394 - 399.

ALGUNOS ASPECTOS SOBRE DESARROLLO DE RESISTENCIA DE MALEZAS A HERBICIDAS

Hernando Pabón 2
Norberto Hernandez E. 3
AgrEvo

Se ha establecido que el proceso por el cual el control de una maleza con un determinado agroquímico se hace cada vez más difícil, se debe a una presión de selección por la aplicación continua con un mismo herbicida, lo que conlleva a un incremento en la proporción de individuos que son natural y genéticamente resistentes al producto.

Debido al impacto negativo que tienen las malezas sobre el desarrollo y rendimiento final de un cultivo, el hombre ha creado diferentes métodos de control dentro de los cuales se destacan los herbicidas, que han sido sin duda alguna una herramienta de alta tecnología para el manejo de malezas, y que a su vez han permitido profundizar en aspectos fisiológicos de plantas. Dada la alta presión de selección con un mismo producto y la consecuente falla de control, se hace necesario volver a integrar diferentes labores como las prácticas mecánicas y físicas, para así lograr un racional manejo de posibles casos de resistencia a herbicidas.

La resistencia de malezas a herbicidas es un fenómeno que ha venido aumentando a nivel mundial. El primer reporte de resistencia fue documentado en 1964 (HRAC, 1992) y desde entonces ha incrementado significativamente el número de casos de resistencia. Esto no quiere decir que se va a crear alarma, sino más bien a tratar de prevenirlos y/o retrasar la aparición del mismo.

Resistencia es la habilidad de una maleza a sobrevivir a un herbicida a una dosis que normalmente la controlaba. La resistencia es una ocurrencia natural y heredable en algunos biotipos de malezas dentro de una población (Valverde, 1995) esto quiere decir que en una población de millones de plantas, pueden existir 1 o 2 con un gen resistente a un herbicida.

1. MECANISMOS RELACIONADOS CON LA RESISTENCIA DE MALEZAS

Dentro del proceso de resistencia existen unos mecanismos que hacen que las malezas sean más o menos agresivas y mecanismos de acción de los herbicidas que hacen que algunas plantas sean susceptibles o tolerantes a un determinado producto (Cuadro 3).

Los herbicidas afectan de manera muy distinta a las malezas. Dependiendo del tipo de producto se pueden afectar procesos relacionados por ejemplo con la síntesis de proteínas, lípidos, ácidos nucleicos, sistema fotosintético, división celular, etc. Cuando se emplean productos con diferentes mecanismos de acción, se puede prevenir o retardar la aparición del fenómeno de resistencia (Green, 1990).

Este fenómeno involucra varios tipos de Resistencia-

Resistencia en el sitio de acción (SA), debido a una mutación de una proteína o de una enzima a nivel del sitio de acción, caso de las Sulfonilureas inhibidores de la enzima ALS (Green, 1990). Esta puede ser transmitida genéticamente.

Resistencia que no involucra el sitio de acción (NOSA): intervienen Oxidasas como Citocromo P450- los biotipos que presentan esta resistencia tienen mayor capacidad de degradar un herbicida. Ejemplo de este caso *Alopecurus myosuroides* vs. Chlorotoluron (Green, 1990).

Resistencia cruzada: se presenta cuando una maleza es resistente a herbicidas químicamente diferentes como resultado de un mismo mecanismo de resistencia; puede involucrar el SA ó el NOSA.

Resistencia múltiple: se presenta cuando las plantas tienen más de un mecanismo de resistencia (SA ó NOSA) sobre algunos o muchos herbicidas. Es el caso más difícil de manejar y probablemente el problema más grave que concierne con el control químico de poblaciones de malezas (Fisher, 1995).

2. RESISTENCIA DE *E. COLONA* AL PROPANIL

El descubrimiento del Propanil (3,4-dicloropropionánilida), hace más de treinta años, trajo consigo muchos beneficios para el productor arrocero, sin embargo, el uso continuo que ha tenido el producto en varios países de América ha generado biotipos de *E. colona* tolerantes al herbicida. El Propanil es metabolizado a 3,4-dicloroanilida, reacción catalizada por la enzima Aryl Acylamidasa. En arroz el alto nivel de actividad de esta enzima le confiere tolerancia al herbicida (Fisher, 1993)(Leah, 1994). Este mismo proceso se presenta en los biotipos tolerantes de *E. colona*, donde se presenta una rápida degradación del compuesto debido a alta concentración de la enzima en las plantas. En Colombia y Costa Rica se reporta la resistencia de *E. colona* al Propanil, (Fisher, 1993)(Valverde, 1995)

A nivel mundial se reportan otros casos de resistencias de *E. colona* a diferentes herbicidas empleados comercialmente en arroz (Simposio Internacional, España, 1995)-

Thiobenz-arb	(China y Egipto)
Butachlor	(China)
Quinclorac	(España)
Fenoxaprop	(Costa Rica)
Pendimethalin	(Bulgaria).

Para el caso del Fenoxaprop en Costa Rica, el departamento de Investigación y Desarrollo de AgrEvo-Colombia inició un monitoreo para este herbicida a nivel del área arrocera del norte de Latinoamérica. A la fecha se han evaluado 37 muestras procedentes de Costa Rica, República Dominicana, Venezuela, Colombia, Ecuador y Cuba. Los resultados permiten concluir que solo dos muestras procedentes de Costa Rica evidenciaron pérdida de susceptibilidad al Fenoxaprop; las restantes poblaciones (92 %) fueron susceptibles al herbicida (cuadro 1).

3. PROCESO PROPUESTO PARA EVALUAR EN CAMPO LA RESISTENCIA DE MALEZAS A HERBICIDAS

3.1. Historial del lote- ayuda a definir si el problema de resistencia es debido al producto u otros factores.

3.2. Evaluación del fenómeno: en caso de que se sospeche del problema de resistencia, debe determinarse mediante el proceso de experimentación (ajustado al método científico) si existe o no el problema. Se sugiere analizar las dosis de 0.5X, 1X, 2X y 4X, donde X es la dosis Comercial del producto. Siempre compara con un biotipo resistente y un biotipo susceptible.

3.3. Comunicación de información vivida- el proceso de experimentación debe generar una información vivida y científica que permita analizar el problema para la toma de medidas necesarias.

3.4. Desarrollo de soluciones locales: no se puede generalizar el manejo de un problema. Debe analizarse la situación local y sus causas para generar algunas alternativas de manejo.

3.5. Capacitación a nivel usuario- se debe informar a los usuarios sobre el problema, sus causas y posibles alternativas de manejo.

Es importante tener en cuenta que no control no siempre significa resistencia-, pueden estar involucrados otros tipos de problemas como por ejemplo condiciones de aplicación, suelo, temperatura, tipo de malezas, etc.

4. PREMISAS PARA EL MANEJO DE RESISTENCIA DE MALEZAS

- 4.1. Rotación de cultivos.
- 4.2. Cambios en los sistemas de cultivo.
- 4.3. Evitar la propagación de malezas.
- 4.4. Implementación de métodos no químicos.
- 4.5. Uso de herbicidas con diferentes mecanismos de acción.
- 4.6. Empleo de productos sinergistas de herbicidas
- 4.7. Veda (no siembra) en lotes con problema confirmado.

Dentro de la alternativa del uso de productos Sinergistas, AgrEvo-Colombia ha venido adelantando investigación a nivel de laboratorio y campo con el herbicida organofosforado Anilofos como sinergista de Propanil. Estos productos organofosforados interfieren con la enzima Aryl Acylamidasa (Leah, 1995), permitiendo que el Propanil siga actuando como herbicida sobre *E. colona*.

Los resultados permiten concluir que Anilofos (300 g la/ha) en mezcla de tanque con Propanil a dosis comercial controla eficientemente *E. colona* resistente a este herbicida evidenciándose el efecto sinérgico sobre la maleza. La selectividad al cultivo no se afecta negativamente. (cuadro 2).

5. ALGUNOS ASPECTOS A CONSIDERAR DENTRO DEL PROGRAMA DE MANEJO

5.1. Aspectos relacionados con la maleza

Dependiendo del tipo de gen, dominante o recesivo, involucrado en el proceso de resistencia, se tienen las diferentes alternativas de manejo:

Cuando el tipo de gen es dominante se debe evitar la dispersión de semillas y se sugiere aplicar herbicidas de amplio espectro en presembrado. Si el gen es recesivo y hay alogamia en la especie, se sugiere sembrar en los bordes del lote biotipos susceptibles para facilitar el cruce de polen (HRAC, 1992).

Alogamia vs. autogamia. Alogamia implica mayor diversidad genética, mayor intercambio genético y presencia de mecanismos de resistencia múltiple, lo que hace más difícil el manejo de resistencia. En el caso de autogamia se sugiere realizar rotación de productos, mezclas y/o secuencias de acuerdo al mecanismo de acción (HRAC, 1992).

5.2. Aspectos relacionados con el herbicida

Cuando en el sitio objetivo de acción del herbicida está involucrado un gen simple, el reducir la dosis del producto y/o frecuencia no ejerce presión de selección, pero si está involucrado un sistema poligénico en el metabolismo del producto, el reducir la dosis y/o frecuencia de aplicación tiende a ejercer mayor presión de selección.

Si el proceso de resistencia está involucrado con un sitio de acción, el emplear productos con diferentes mecanismos de acción, rotación, mezclas y secuencias favorece un adecuado manejo del problema, pero si el fenómeno de resistencia está relacionado con procesos metabólicos (diferentes rutas metabólicas de detoxificación), la rotación de productos, mezclas y/o secuencias no favorece un adecuado manejo del problema.

6. RECOMENDACIONES GENERALES

Antes de que el control de malezas en el campo falle debido a problemas de resistencia se sugiere desarrollar diferentes pruebas de laboratorio/campo con el fin de detectar posibles causas de falla en control (cuadro 4) y tener en cuenta los siguientes aspectos generales,

- 6.1. Elaborar el historial de los lotes de cultivo- productos aplicados, fechas, dosis, clase de cultivo, etc.
- 6.2. Implementar la rotación de cultivos.
- 6.3. Emplear productos con diferentes mecanismos de acción para el control
- 6.4. de una maleza problema.
- 6.5. Donde sea posible, utilizar mezclas o rotación de herbicidas con diferentes mecanismos de acción.
- 6.6. Implementar el uso de otras prácticas para el control de malezas: control cultural, control físico, control mecánico, etc.
- 6.7. Emplear semilla certificada para evitar dispersión de semillas con problema de resistencia.
- 6.8. En lotes donde se halla determinado problema de resistencia, emplear herbicidas no selectivos de amplio espectro en presiembra para evitar producción de semilla.
- 6.9. Crear comités de Resistencia de Malezas que ayuden a determinar la problemática en cada región y sugerir las mejores alternativas de solución.

La estrategia es cambiar los sistemas tradicionales en los cultivos para reducir la presión de selección.

7. BIBLIOGRAFIA

1. Fisher, J.A., E. Granados, and D. Trujillo. 1993. Propanil resistance in populations of jungle-rice (*Echinochloa colona*) in Colombian rice fields. *Weed Science*. 41-201-206.
2. Fisher, J.A. y H. Pabon. 1995. Desarrollo de Resistencia a herbicidas en poblaciones de malezas. *Revista Comafi-ISSN 0120-0682*. 23(2)- 7-19.
3. Green, M.B., H.M. Le Baron, and W.K. Moberg. 1990. *Managing Resistance to Agrochemicals*. In American Chemical Society. Washington D.C.
4. Herbicide Resistance Action Committee (HRAC). Publication, May 1992.
5. Leah, J.M., J.C. Caseley, C.R. Riches, and B. Valverde. 1995. Association between elevated activity of aryl acylamidase and propanil resistance in jungle-rice, *Echinochloa colona*. *Pesticide Science*. 42-. 281-289.
6. Leah, J.M., J.C. Caseley, C.R. Riches, and B. Valverde. 1995. Agerelated mechanism of propanil tolerance in jungle-rice, *Echinochloa colona*. *Pesticide Science*. 43: 001-008.
7. Cuadro 1. Respuesta de diversas accesiones de *Echinochloa colona* y *E. crus-galli* al Fenoxaprop-etil y al

8. Propanil, aplicados en el estado de desarrollo de 3-4 hojas. Centro Experimental AgrEvo, Rozo. Cali-Colombia. 1.996

Tabla 1. Respuesta de diversas accesiones de *Echinochloa colona* y *E. crus-galli* al Fenoxaprop-p-etil y al propanil, aplicados en el estado de desarrollo de 3-4 hojas. Centro Experimental AgrEvo, rozo. Cali-Colombia. 1996

Origen de la muestra	N o. de aplicaciones de Fenoxaprop en los últimos 5 años.	fenoxaprop-p-etil (g la/ha)			Propanil (g la/ha)		
		18.9	33.8	67.6	1440	2880	5760
		(0.5x)	(1x)	(2x)	(0.5x)	(1x)	(2x)
Porcentaje de control, 21 días después de aplicación*							
Colombia-Llanos	10	98	98	98	18	28	30
Colombia-Llanos	10	100	100	100	23	25	50
Colombia-Llanos	10	100	100	100	15	35	34
Colombia-Llanos	7	99	99	99	27	52	70
Colombia-Llanos	5	98	98	98	10	20	30
Colombia-Llanos	4	100	100	100	30	6	41
Colombia-Llanos	0	99	100	99	19	49	59
Colombia-Tolima	8	100	100	100	12	20	32
Colombia-Tolima	7	98	98	98	26	28	30
Colombia-Tolima	5	99	97	97	54	73	99
Colombia-Tolima	5	100	100	100	10	17	26
Colombia-Cúcuta	7	100	100	100	29	19	32
Colombia-Cúcuta	7	99	100	100	28	26	53
Colombia-Cúcuta	8	50	97	99	10	35	47
Colombia-Cúcuta	6	79	99	99	37	42	42
Colombia-Cúcuta	2	98	99	99	28	24	44
Colombia-Cúcuta	2	95	97	99	23	43	51
Colombia-Cúcuta	2	95	99	99	24	52	62
Colombia-Cúcuta	0	98	97	97	24	28	44
Costa Rica	10	45	55	59	29	31	65
Costa Rica	7	55	67	90	53	53	77
Costa Rica	5	54	99	99	27	21	58
Costa Rica	5	97	100	100	0	21	45
Costa Rica	0	30	64	97	15	22	42
República Dominicana	8	99	100	100	83	95	100
República Dominicana**	8	99	100	100	97	100	100
República Dominicana**	1	100	100	100	58	63	100
República Dominicana	0	99	100	100	80	92	97
República Dominicana	0	97	97	100	55	77	94
Venezuela	5	55	98	98	10	92	92
Venezuela	2	99	99	100	85	93	98
Venezuela	1	99	99	99	82	94	91
Venezuela	0	99	99	100	94	98	98
Venezuela	0	97	99	100	19	45	60
Venezuela	0	97	99	100	10	29	55
Ecuador	7	99	99	100	50	51	67
Cuba	0	90	96	98	93	97	98

*Porcentaje de control tomado como disminución del peso seco respecto al testigo absoluto

**E. crus-galli

Tabla 2. Efecto sinérgico de un herbicida Organofosforado+Propanil sobre *E. colona* resistente al Propanil. Centro Experimental AgrEvo, Rozo Cali-Colombia, 1996

TRATAMIENTO	DOSIS (g la / ha)	PESEO SECO (G), 14 DDA		% CONTROL 14 DDA-	
		aplic. 2 hojas	aplic. 3 hojas	aplic. 2 hojas	aplic. 3 hojas
Testigo absoluto		5,25 e	5,67 d		
Anilofos 30 EC	300	1,92 dc	1,91 b	63,9	65,9
Anilofos 30 EC	450	1,39 bc	1,88 b	73,2	67
Propanil 48 EC	1920	2,22 d	4,02 c	57,5	28,6
Propanil 48 EC	2880	1,33 b	3,71 c	74,5	33,9
Anilofos 30 EC+	300+	0,30 a	0,32 a	94,3	94,4
Propanil 48 EC	1920				
Anilofos 30 EC+	450+	0,20 a	0,14 a	96,2	97,5
Propanil 48 EC	1920				
Anilofos 30 EC+	300+	0,05 a	0,14 a	99	97,4
Propanil 48 EC	2880				
Anilofos 30 EC+	450+	0,05 a	0,08 a	99	98,6
Propanil 48 EC	2880				

% control Abbott de acuerdo al peso seco de la maleza.

DDA: días después de aplicación

CV = 20.1 %

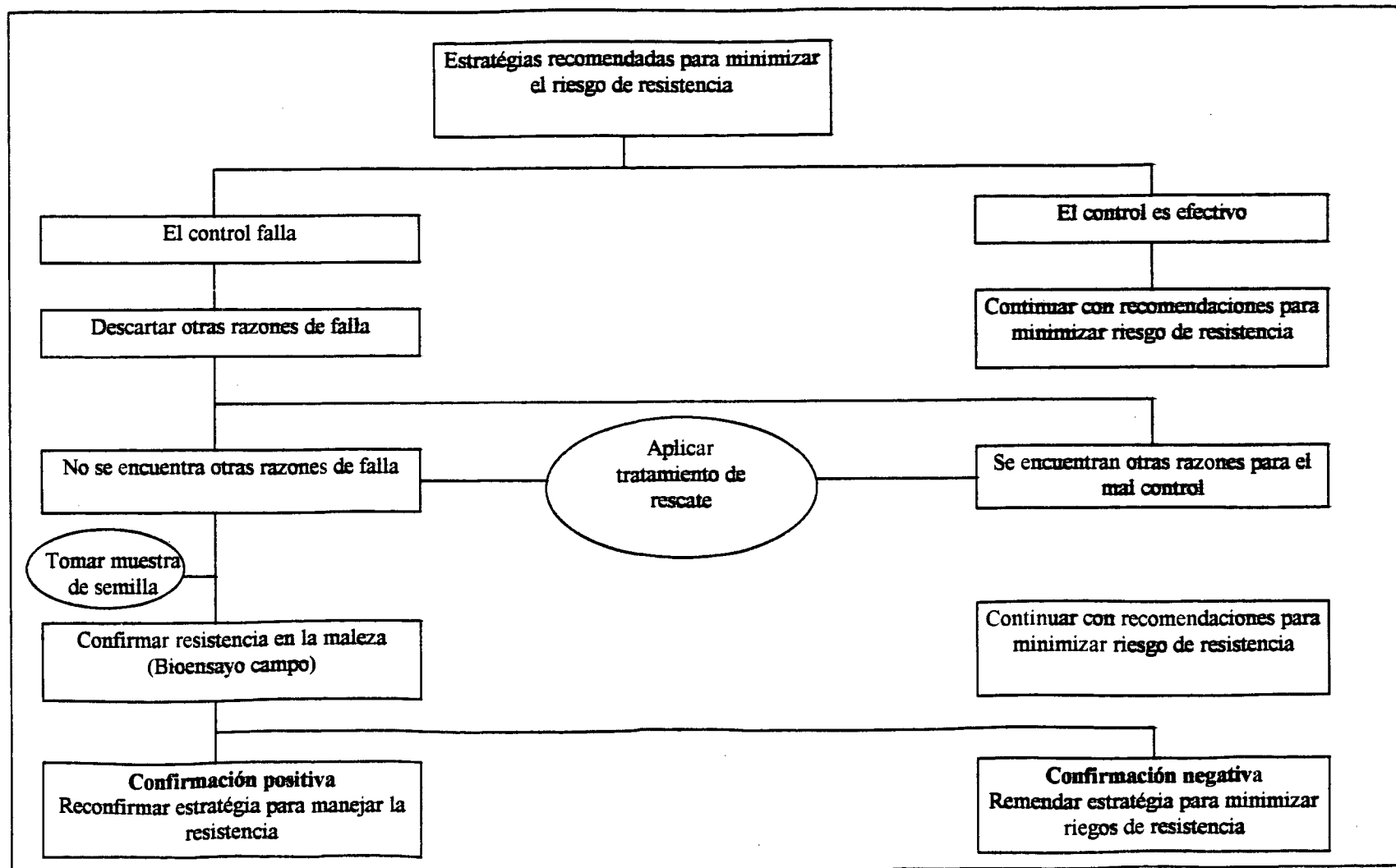
Semilla de *E. colona* proveniente de la zona arroquera de Cúcuta

Tabla 3. Mecanismos de acción de herbicidas empleados en arroz

MECANISMO DE ACCION	PRODUCTOS														
	GLI	PAR	OXI	OXA	PEN	THI	CLO	BUT	PRO	FEN	BEN	2,4D	MET	QUI	PRE
FOTOSINTESIS		X							X		X				
LÍPIDOS			X	X		X				X					
AMINOACIDOS	X												X		
PIGMENTOS				X			X								
CLOROFILA				X											
DIVISION CELULAR					X	X		X				X			X
HORMONAS						X				X		X		X	
PROTEINAS						X		X							X
RESPIRACION			X												
ACIDOS NUCLEICOS								X				X			X

Glifosato; Paraquat; Oxifluorfen; Oxadiazon; Pendimetalin; Thiobencarb; Clomazone; Butachlor; Propanil; Fenoxaprop; Bentazon; 2,4D; Metsulfuron metil; Quinclorac; Pretilachlor.

Tabla 4. Toma de decisiones para la detección y manejo de la resistencia de malezas a herbicidas (Fuente: Herbicide Resistance Action Committee-HRAC).



La coordinación del Programa Epidemiología Vegetal de CORPOICA agradece el apoyo y participación de:

Dr. RAFAEL AUBAD LOPEZ, Director Ejecutivo de CORPOICA

Dr. JUAN JARAMILLO VASQUEZ, Subdirector Sistemas de Producción, CORPOICA

Dra. LAURA RUGELES CHACON y demás funcionarios de la Oficina de Desarrollo Humano de CORPOICA.

Dra. DALIA ROSA BLANCO DIAZ, Departamento de Suministros y Servicios, Regional 1, CORPOICA

AGREVO

CONFERENCISTAS

Estudiantes, secretaria y profesionales del Programa Nacional Epidemiología Vegetal de CORPOICA