



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Dinámica espacial y temporal de poblaciones de malezas en cultivos de papa, espinaca y caña de azúcar y su relación con propiedades del suelo en dos localidades de Colombia

David Alejandro Jamaica Tenjo

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Agronomía

Bogotá D.C., Colombia

2013

Dinámica espacial y temporal de poblaciones de malezas en cultivos de papa, espinaca y caña de azúcar y su relación con propiedades del suelo en dos localidades de Colombia

David Alejandro Jamaica Tenjo

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Ciencias Agrarias

Director:
Guido Plaza, Ph.D.

Línea de Investigación:
Malherbología

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Agronomía
Bogotá D.C., Colombia

2013

*A mi mamá por su apoyo incondicional
a cualquier viaje que he decidido emprender*

*A mi esposa por recorrer conmigo, lado a lado,
todos los viajes que hemos emprendido*

Agradecimientos

A la División de Investigación Sede Bogotá de la Universidad Nacional de Colombia, por la financiación de la tesis a través del proyecto “Dinámica de las poblaciones de malezas en el cultivo de espinaca (*Spinacea oleracea* L.), en la Hacienda Marengo, Mosquera-Cundinamarca” código 10952, de la convocatoria “Apoyo a tesis de programas de posgrado Sede Bogotá - año 2009”.

A la Universidad Nacional de Colombia, a la Facultad de Agronomía, a Guido Plaza, director de esta tesis por su increíble paciencia y sabiduría, al ingeniero Juan Carlos Rodríguez y al profesor Wilson Piedrahita por su apoyo en el Centro Agropecuario Marengo, a la profesora Martha Bohórquez por su guía en el área de geoestadística, a Rafael Cruz por su apoyo en el laboratorio de malherbología, a los ingenieros Juan Manuel Botero y Carlos Tilano, y a Oriente S.A. en Palmira por su apoyo en el cultivo de caña. Al grupo de estudio de malezas, ingenieras Verónica Hoyos y Marcela Rodríguez, a la ingeniera Juliana Combariza por su apoyo en la recolección de datos y por sus aportes en la revisión del documento, a Laura Jamaica por su apoyo en la digitalización de los datos de campo y a todos los que contribuyeron de diversas formas en la realización de este proyecto.

Resumen

Las malezas son uno de los principales problemas bióticos en la producción de cultivos en el mundo. Conocer las condiciones de suelo o de clima, que permiten el establecimiento de las malezas en un cultivo es de vital importancia. Y el primer paso en este sentido, es encontrar la forma más eficaz de estudiar las malezas. Se realizaron muestreos en cultivos de papa, espinaca y caña de azúcar con la intención de encontrar la forma más eficaz de evaluar poblaciones de malezas. A su vez se estudiaron las poblaciones de malezas en dichos cultivos, su distribución espacial mediante la formación de mapas, su dinámica temporal y las condiciones externas como el suelo o el clima que influyen en dicha dinámica. Se encontró que las poblaciones se distribuyen en parches y que estos son relativamente estables en el espacio y en el tiempo, pero esta estabilidad espacial está sujeta a propiedades del suelo, como pH o la cantidad de Ca o N, mientras que en el tiempo la estabilidad depende de las condiciones climáticas.

Palabras clave: muestreo, parches, interpolación, mapas, cobertura

Abstract

Weeds are one of the main problems in crops production worldwide. Knowing the conditions of soil or climate, that allow the establishment of different species in crops is important, and the first step in that sense is to find the most effective way to study these. Samplings are conducted in potato, spinach and sugar cane crops with the intention of finding the most effective way to assess weed populations. In addition, weed populations were studied in these cultures, their spatial distribution by forming maps, its temporal dynamics and external conditions such as soil or climate influencing such dynamics. It was found that the populations are distributed in patches and these are relatively stable in space and time, but this spatial stability depends of the soil properties such as pH or the amount of Ca or N, meanwhile the temporal stability depends on the climatic conditions.

Keywords: sampling, patches, interpolation, maps, coverage

Contenido

Introducción	13
1. Evaluación de diferentes metodologías convencionales de muestreo de poblaciones malezas.....	17
1.1 Objetivo del muestreo	19
1.2 Metodología.....	20
1.2.1 Simulaciones de los muestreos	23
1.2.2 Evaluación de los tamaños de cuadro	24
1.2.3 Evaluación de la variable utilizada	24
1.2.4 Evaluación de las distribuciones y la cantidad de cuadros en el lote en la determinación de abundancia	24
1.2.5 Evaluación de las distribuciones de cuadros en el lote en la conformación de mapas	24
1.3 Resultados.....	25
1.3.1 Evaluación del número de cuadros a tomar y estimación de la riqueza	26
1.3.2 Evaluación de los tamaños de cuadro	31
1.3.3 Evaluación de la variable utilizada en el muestreo.....	32
1.3.4 Evaluación de cantidad y distribución de cuadros en el lote en la determinación de la abundancia	33
1.3.5 Evaluación de las distribuciones de cuadros en el lote en la conformación de mapas	36
1.4 Conclusiones.....	38
2. Distribución espacial y dinámica temporal de algunas poblaciones de malezas en un cultivo de espinaca y en un cultivo de caña de azúcar.....	41
2.1 Introducción	41
2.2 Metodología para el estudio de la distribución espacial.....	43
2.3 Resultados distribución espacial	44
2.4 Metodología para el estudio de la dinámica temporal.....	54
2.5 Resultados dinámica temporal.....	55
2.6 Conclusiones.....	65
3. Relación entre la presencia y abundancia de diferentes especies de malezas con algunas propiedades químicas del suelo	67
3.1 Introducción	67
3.2 Metodología.....	68
3.3 Resultados.....	69
3.4 Conclusiones.....	74
4. Conclusiones generales y Recomendaciones.....	75

8 Dinámica espacial y temporal de poblaciones de malezas en cultivos de papa, espinaca y caña de azúcar y su relación con propiedades del suelo en dos localidades de Colombia

4.1	Conclusiones.....	75
4.2	Recomendaciones	76
5.	Anexo: Pruebas Tukey para las variables número de especies y Detener el muestreo en el cuadro No.	77
6.	Bibliografía.....	79

Índice de tablas

Tabla 1-1: Características de los diferentes muestreos realizados en el cultivo de papa	21
Tabla 1-2: Cobertura (%) de las diferentes especies de malezas registradas en el cultivo de papa	25
Tabla 1-3: Cobertura (%) de las diferentes especies de malezas registradas en el cultivo de espinaca.....	25
Tabla 1-4: Cobertura (%) de las diferentes especies de malezas registradas en el cultivo de caña de azúcar	26
Tabla 1-5: Comparación de la riqueza (mediana del número de especies en las 20 repeticiones), desviación estándar y área muestreada (%), tomando 10 cuadros de cada tamaño de cuadro.....	27
Tabla 1-6: Características del muestreo para obtener cerca del 80% de las especies en los diferentes cultivos	30
Tabla 1-7: Cobertura (%) por especie mediante la utilización de los diferentes tamaños de cuadro.....	31
Tabla 1-8: Cobertura (%) y densidad (# ind/área de cuadro), para tres especies de plantas en el muestreo realizado con tamaños de cuadros de 0,25 m ²	32
Tabla 1-9: Media, error estándar y coeficiente de variación de la cobertura (%) de cuatro especies de plantas con diversos índices de agregación, obtenidos en las diferentes distribuciones y números de cuadros de muestreo en el cultivo de espinaca	34
Tabla 2-1: Estadística descriptiva e índice de agregación para las siete especies de malezas encontradas en el cultivo de espinaca y siete especies del cultivo de caña	45
Tabla 2-2: Especies de malezas encontradas en el cultivo de espinaca	55
Tabla 2-3: Muestreos, condiciones de humedad y precipitación promedio.....	56

10 Dinámica espacial y temporal de poblaciones de malezas en cultivos de papa, espinaca y caña de azúcar y su relación con propiedades del suelo en dos localidades de Colombia

Tabla 3-1: Especies encontradas en el muestreo en el cultivo de espinaca	69
Tabla 3-2: Resultados del análisis de suelos de la segunda serie de muestras	71
Tabla 3-3: Matriz de correlación entre las especies de malezas encontradas en el lote y diversos parámetros químicos del suelo	73

Índice de Figuras

Figura 1-1: Dimensiones de los tamaños de cuadros utilizados en los muestreos en el cultivo de papa.....	21
Figura 1-2: Descripción del muestreo en el cultivo de espinaca	22
Figura 1-3: Descripción del muestreo en el cultivo de caña.....	22
Figura 1-4: Diferencia entre la distribución de los cuadros de muestreo entre aleatorio y al azar.....	23
Figura 1-5: Riqueza y varianza para los muestreos utilizando cuadros de 0,25 m ² , 4 m ² y 16 m ² , usando de 1 a 10 cuadros en cada uno.	27
Figura 1-6: Riqueza y varianza para muestreos de 1 a 10 cuadros en el cultivo de espinaca.....	29
Figura 1-7: Riqueza y varianza para muestreos de 1 a 10 cuadros en el cultivo de caña de azúcar	29
Figura 1-8: Comparación de la determinación del número mínimo de cuadros mediante dos metodologías, en el cultivo de espinaca	30
Figura 1-9: Distribución de la variable cobertura para las cuatro especies descritas	35
Figura 1-10. Mapa de distribución en el lote de, <i>F. limensis</i> usando todos los datos del muestreo	36
Figura 1-11. Comparación cualitativa de las diferentes cantidades y distribuciones de puntos de muestreo (1).....	37
Figura 1-12. Comparación cualitativa de las diferentes cantidades y distribuciones de puntos de muestreo (2).....	37
Figura 2-1: Histogramas de la cobertura de siete especies de malezas del cultivo de espinaca.....	46

12 Dinámica espacial y temporal de poblaciones de malezas en cultivos de papa, espinaca y caña de azúcar y su relación con propiedades del suelo en dos localidades de Colombia

Figura 2-2: Histogramas de la cobertura de siete especies de malezas del cultivo de caña de azúcar.	47
Figura 2-3: Mapas de <i>R. raphanistrum</i> provenientes de tres formas diferentes de interpolación: lineal, spline y krigging.	47
Figura 2-4: Mapas de <i>F. limensis</i> provenientes de tres formas diferentes de interpolación: lineal, spline y krigging.	48
Figura 2-5: Semivariograma para <i>F. limensis</i> utilizando todos los datos del lote.	49
Figura 2-6: Sección del lote en donde se presenta <i>F. limensis</i> y su respectivo semivariograma	50
Figura 2-7: Distribución espacial de la cobertura (%) de siete especies de malezas en el lote de espinaca.	51
Figura 2-8: Distribución espacial de la cobertura (%) de cuatro especies de malezas en el lote de caña de azúcar.	52
Figura 2-9: Mapa con la posición de los parches de cinco especies de malezas en el cultivo de espinaca	53
Figura 2-10: Mapa con la posición de los parches de tres especies de malezas en el cultivo de caña de azúcar	54
Figura 2-11: Mapa topográfico del lote, altura (cm), de acuerdo al nivel medio	56
Figura 2-12: Distribución espacial de <i>U. urens</i> durante los 6 muestreos	58
Figura 2-13: Distribución espacial de <i>F. limensis</i> durante los 6 muestreos	59
Figura 2-14: Distribución espacial de <i>A. hybridus</i> durante los 6 muestreos	60
Figura 2-15: Distribución espacial de <i>C. petiolare</i> durante los 6 muestreos	61
Figura 2-16: Distribución espacial de <i>P. segetum</i> durante los 6 muestreos	62
Figura 2-17: Distribución espacial de <i>R. raphanistrum</i> durante los 6 muestreos.	63
Figura 2-18: Distribución espacial de <i>R. crispus</i> durante los 6 muestreos	64
Figura 3-1: Mapas de distribución espacial de la cobertura (%) de las diferentes especies de malezas, pH y CE.	70
Figura 3-2: Nivelación topográfica del lote	72

Introducción

El conocimiento en torno a la malherbología ha evolucionado en el mundo. En la segunda mitad del siglo XX se realizaron numerosos estudios para caracterizar el daño de las malezas hacia los cultivos, hasta el punto de conocer cuántos gramos de biomasa cosechada se pierden por cada individuo presente en un cultivo. De esta premisa se crean y utilizan los umbrales de acción para el control de malezas, los cuales permiten conocer el nivel máximo de infestación de un cultivo antes de ser necesario implementar un método de control. Con esto, se crea la necesidad de tener y utilizar metodologías precisas para la estimación de la abundancia de las poblaciones de malezas en los cultivos. Por lo tanto, las metodologías de muestreo han evolucionado rápidamente para cada vez ser más precisas y menos costosas. Desde la utilización de cuadros de muestreo a fotos satelitales y el uso de espectrómetros que identifican las diversas especies de forma inmediata y su ubicación en los campos, lo que conlleva a la aplicación de métodos de control de malezas específicos para cada lugar del cultivo.

Sin embargo, el estado del conocimiento de las malezas en países en vía de desarrollo es limitado, las investigaciones que se realizan apuntan al efecto de prácticas de manejo, y son pocas las relacionadas con la biología, la ecología y la evaluación de poblaciones de malezas.

La dinámica de las malezas en zonas intertropicales es diferente a las zonas templadas, en donde se conoce por ejemplo, que especies de malezas germinan en cada mes o estación del año. En los sistemas de producción colombianos puede germinar cualquier especie de maleza en cualquier mes del año, lo cual hace más difícil el estudio de la interacción de cada especie con el cultivo, por lo tanto en la mayoría de los casos, no se

14 Dinámica espacial y temporal de poblaciones de malezas en cultivos de papa, espinaca y caña de azúcar y su relación con propiedades del suelo en dos localidades de Colombia

conoce cuántos gramos de cultivo se pierden por cada individuo presente, y tampoco cual es el umbral de acción para implementar métodos de control. Debido a estas razones, los métodos de evaluación de malezas se utilizan solo en investigaciones, y no en cultivos comerciales.

También esto se debe, a que no existe una necesidad real de conocer con precisión el estado de las malezas en los cultivos comerciales, teniendo como base que en la mayoría de los cultivos en Colombia el método de manejo es la desyerba manual, en donde no importa realmente que especie se presenta en el lote y en los cultivos en donde se usan herbicidas, las aplicaciones se hacen generalizadas, con el impacto ambiental que esto conlleva.

Colombia presenta gran afluencia de población rural a zonas urbanas, lo que genera un encarecimiento de la mano de obra rural, por lo tanto una desyerba manual es cada vez más costosa; esto conlleva a una pérdida de la competitividad de los sistemas de producción. Mientras tanto, en países industrializados el manejo de malezas se realiza con herbicidas selectivos y bajo esquemas de agricultura de precisión, lo que aumenta su competitividad. A su vez, recientemente (2000-2010) se han firmado numerosos tratados de libre comercio lo que obliga a la agricultura nacional a volverse más competitiva bajo riesgo de desaparecer.

Este documento está organizado en tres capítulos. En el primer capítulo, se realizó una evaluación de las metodologías de muestreo convencionales para tres sistemas de cultivo nacionales: papa, espinaca y caña de azúcar. Con lo que se espera brindar a los profesionales del agro, herramientas adecuadas para el estudio de las poblaciones de malezas en los agroecosistemas colombianos.

Pero el estudio de estas poblaciones no es un fin en sí mismo, sino un medio para comprender la complejidad de las comunidades de malezas. Por lo que en el segundo capítulo, se busca la respuesta a una parte de esa complejidad: ¿Las malezas se presentan de forma aleatoria en todo el campo? ó ¿De qué forma se distribuyen las malezas en los cultivos?, ¿Siempre salen en el mismo lugar?

Se encontró que las malezas se distribuyen de forma agregada, en parches muy bien definidos y además son muy estables en el espacio y relativamente estables en el tiempo, pero, ¿Por qué?

En el tercer capítulo se aborda esta pregunta, que de forma personal considero la más importante, al ser la fuente de este trabajo de investigación: ¿Por qué una población de una especie de maleza aparece y se distribuye de una determinada forma en el campo?, ¿Y por qué en esos lugares en particular?

Esta pregunta se abordó, desde el punto de vista de la distribución espacial de las malezas y de algunas propiedades del suelo, como pH o la cantidad de nutrientes.

Este trabajo, pretende aportar a la metodología de estudio de poblaciones de malezas, al estudio de dinámica espacial y temporal de malezas, y al estudio de las relaciones existentes entre malezas y el suelo.

16 Dinámica espacial y temporal de poblaciones de malezas en cultivos de papa, espinaca y caña de azúcar y su relación con propiedades del suelo en dos localidades de Colombia

1. Evaluación de diferentes metodologías convencionales de muestreo de poblaciones malezas

Las malezas son con frecuencia el principal problema biótico en los sistemas de producción en países no industrializados, debido a diversos factores entre los cuales se encuentran: la falta de reconocimiento acerca de las pérdidas que causan las malezas y los métodos existentes para su control por parte de los agricultores, extensionistas y agentes del estado (Labrada, *et al.*, 1996), además de la escasa producción y transferencia de tecnología. Muchos de los estudios realizados en malherbología en estos lugares se han enfocado en adoptar tecnologías foráneas, siendo escasa la investigación en aspectos biológicos y ecológicos de malezas, diagnóstico dinámica poblacional y manejo integrado de malezas (FAO, 1997; Labrada *et al.*, 1996)

Un plan de manejo integrado de malezas debe incluir una etapa de diagnóstico, el cual inicia con un muestreo. De manera convencional se acostumbra a tomar un número de cuadros distribuidos al azar en el campo, muestreos sistemáticos como transectos en forma de “Equis”, “Zigzag” o en algunos casos muestreos uniformes en forma de grilla o red rígida, registrando variables como densidad, cobertura y frecuencia de las diferentes especies de malezas encontradas (Fuentes, 1986; Gold & Wilkerson, 1996; Clay & Dakota, 2002).

Sin embargo, existen situaciones que se deben considerar antes de iniciar el muestreo: la elección entre las diversas variantes de las metodologías dependen del objetivo del muestreo y de las características de las poblaciones (riqueza y distribución) a evaluar en cada agroecosistema en particular (Braun-Blanquet, 1979; Matteucci & Colma, 1982; Mostacedo & Fredericksen, 2000). Además, convencionalmente las metodologías de muestreo usadas en malezas no siempre cuentan con información previa acerca de

18 Dinámica espacial y temporal de poblaciones de malezas en cultivos de papa, espinaca y caña de azúcar y su relación con propiedades del suelo en dos localidades de Colombia

dichas características o algún tipo de soporte en el proceso de toma de decisiones, o algunas veces no son convenientes.

Por ejemplo, sobre el número de puntos a tomar, las metodologías convencionales de muestreo de poblaciones de malezas asumen que estas tienen distribución homogénea o aleatoria en el espacio (Caamal, 2004; Mostacedo & Fredericksen, 2000) y esto no es siempre así (Booth, *et al.*, 2003), ya que numerosos estudios afirman que la distribución de malezas es en parches (Gonzalez-Andujar & Saavedra, 2003; Heijting *et al.*, 2007; Jurado-Exposito *et al.*, 2004; Marshall, 1988; Rew & Cousens, 2001).

En el tema de la distribución de los puntos de evaluación en la parcela o lote, se comenta la conveniencia de realizarlo de forma aleatoria cuando el objetivo es evaluar la riqueza de especies, debido a que la curva de especies-área (Mostacedo & Fredericksen, 2000) o el método de área mínima de muestreo (Fuentes, 1986), se estabilizaría en una región del lote en un muestreo al azar, sistemático o uniforme, debido a la distribución agregada de las poblaciones en el espacio (Rew & Cousens, 2001).

Sí el objetivo es cuantificar la abundancia de las poblaciones, el uso de distribuciones de muestras estratificadas o sesgadas, no son convenientes por la posibilidad de sobre o subestimar las variables medidas, debido a que se puede llevar el muestreo a las zonas más “representativas” (Caamal, 2004) sesgando el resultado. En este caso se debe tener en cuenta la distribución espacial de las poblaciones: agregación o “patchiness” (Colbach, *et al.*, 2000), lo cual se logra mediante la realización de muestreos uniformes (grilla o red rígida), interpolación y creación de mapas (Rew & Cousens, 2001) ó sensores remotos (Feyaerts, 2001; Okamoto, *et al.* 2007; Sui, *et al.*, 2008).

Con relación a la temática del tamaño de la unidad de muestreo y la variable a utilizar, esta depende principalmente de las poblaciones existentes en el área de estudio; sí es posible contar individuos de forma rápida y fácil se puede registrar densidad con cuadros pequeños (0,1 a 0,25 m²), en cambio, si esto no es así, se debe registrar cobertura con cuadros medianos (0,25 a 4 m²); sí el objetivo requiere mayor precisión en la estimación de la abundancia, se puede registrar biomasa y si las poblaciones y áreas son grandes

se puede registrar frecuencia con otros métodos diferentes a cuadros o cuadros grandes (>4 m²) (Braun-Blanquet, 1979; Caamal, 2004; Fuentes, 1986; Matteucci & Colma, 1982; Mostacedo & Fredericksen, 2000).

1.1 Objetivo del muestreo

Matteucci & Colma (1982), comentan que el primer paso consiste en “delimitar y definir el problema, definir conceptos y categorías de métodos, técnicas y análisis”. El problema en este caso es el objetivo mismo del muestreo, una vez definido se puede elegir una metodología de muestreo de malezas óptima, técnica y económica.

Para Matteucci & Colma, (1982), los estudios de la vegetación tienen como objetivo: detectar patrones espaciales o verticales de las poblaciones, estudiar los procesos poblacionales que los afectan, establecer correlaciones entre las influencias de la comunidad y del ambiente sobre la distribución de la población objeto. Para Fuentes (1986), los objetivos del muestreo de malezas son: estudios autoecológicos, estudios de producción y estudios de efectos de prácticas de manejo. En tanto para Leguizamón (2005), son: detectar la presencia y abundancia de malezas, obtener información para tomar decisiones de manejo, construir la "historia" del lote sobre las cuales se podrán diseñar planes de manejo a largo plazo, detectar el ingreso de especies invasoras y proveer datos para la construcción de mapas que sirvan de base para la agricultura de precisión y el manejo sitio específico de insumos.

Recogiendo los aportes de estos autores, el muestreo de malezas tiene dos objetivos: conocer la riqueza y la abundancia, y estas a su vez tienen como objetivo proveer información para:

Estudios de biodiversidad: Riqueza y estructura de las comunidades.

Manejo a corto plazo: medidas de abundancia para tomar decisión inmediata en el presente ciclo de cultivo.

20 Dinámica espacial y temporal de poblaciones de malezas en cultivos de papa, espinaca y caña de azúcar y su relación con propiedades del suelo en dos localidades de Colombia

Planes de manejo a largo plazo: medidas de riqueza y abundancia para manejo preventivo, evolución de la flora arvense.

Mapeo: estudios de dinámica espacial, manejo específico por sitio o manejo por parches.

Actualmente en países con agricultura industrial y a gran escala, diferentes metodologías de muestreo (v.g. percepción remota y muestreo continuo) se han evaluado para conocer su precisión en la estimación de la abundancia y posición de diferentes especies (Barroso *et al.*, 2005; LaMastus & Shaw, 2005). Sin embargo, para el caso colombiano y en particular en la Sabana de Bogotá, en la cual más del 70% de la agricultura no es tecnificada y se desarrolla en lugares menores a 2 ha (DANE, 2001), no se han evaluado las metodologías convencionales en la estimación de variables de abundancia (densidad, cobertura, biomasa), frecuencia y distribución (mapas).

Por estas razones este capítulo tiene como objetivo evaluar diferentes metodologías de muestreo convencional en tres cultivos de dos localidades, para determinar su precisión en la estimación de variables de riqueza y abundancia.

1.2 Metodología

Esta parte del trabajo se realizó en tres cultivos: cultivo de papa de 4 meses desde siembra, ubicado en la hacienda Alcalá, municipio de Cota (Cundinamarca), a 2.550 msnm, temperatura media de 13 °C y régimen pluviométrico bimodal con promedio de 700 mm/año. El segundo, un cultivo de espinaca de 4 semanas desde siembra, ubicado en el Centro Agropecuario Marengo (CAM) de la Universidad Nacional de Colombia, municipio de Mosquera (Cundinamarca), a 2.542 msnm, temperatura media de 13 °C y régimen pluviométrico bimodal con promedio de 669 mm/año. Por último, un cultivo de caña de azúcar de 25 días después de la siembra, ubicado en la hacienda La Italia, municipio de Palmira (Valle del Cauca), a 980 msnm, con temperatura media de 23,5 °C y régimen pluviométrico bimodal con promedio de 950 mm/año.

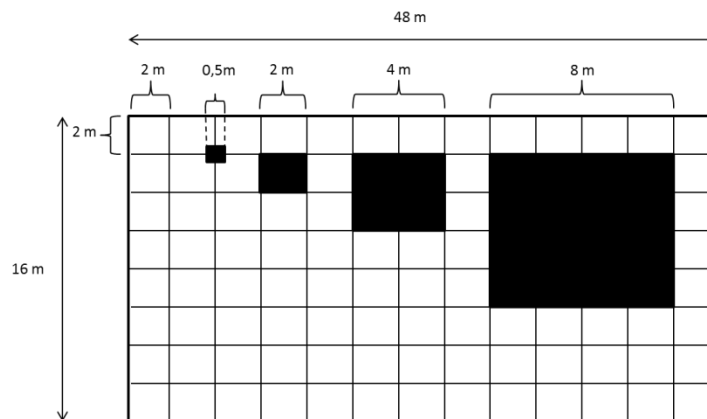
En el cultivo de papa se realizó un recorrido previo del lote, en donde se seleccionó un área de 16 m * 48 m que representó las condiciones en cuanto a la comunidad de

malezas de todo el lote. En esta se realizó el montaje de una red rígida de 2m * 2m, en un área dentro del lote de 16 m * 48 m. Se realizaron cuatro muestreos, que se describen en la Tabla 1-1 y la Figura 1-1.

Tabla 1-1: Características de los diferentes muestreos realizados en el cultivo de papa

Característica	Muestreo			
	Cuadros 0.5 m * 0.5 m	Cuadros 2*2 m	Cuadros 4*4 m	Cuadros 8*8 m
Variable (s)	Densidad y cobertura	Cobertura	Cobertura	Cobertura
Tamaño de cuadro	0,25 m ²	4 m ²	16 m ²	64 m ²
Número de cuadros muestreados	225	192	48	12
Área muestreada (%)	7,32	100	100	100

Figura 1-1: Dimensiones de los tamaños de cuadros utilizados en los muestreos en el cultivo de papa

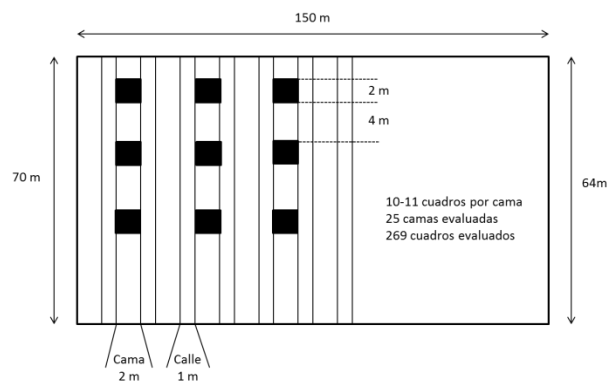


En el cultivo de espinaca se estableció una grilla de 6m * 6m en un lote de aproximadamente 1,06 ha, en la Figura 1-2 se puede observar la disposición de los

22 Dinámica espacial y temporal de poblaciones de malezas en cultivos de papa, espinaca y caña de azúcar y su relación con propiedades del suelo en dos localidades de Colombia

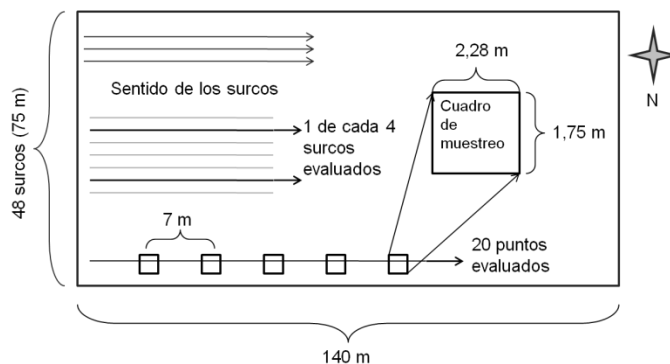
cuadros. Se estableció una grilla de este tipo debido a que las camas de cultivo eran de 2m de ancho y la calle 1 m de ancho, por lo tanto coincidía la grilla con cada cama intermedia. En cada intersección se realizó un cuadro de muestreo de 2m * 2m, tomando como variable de medición la cobertura de las malezas presentes en el lote. Se tomaron en total 269 cuadros.

Figura 1-2: Descripción del muestreo en el cultivo de espinaca



En el cultivo de caña de azúcar se evaluó la cobertura en un área de 4 m^2 ($1,75 \text{ m} \times 2,29 \text{ m}$) cada 7 metros y cada cuatro surcos, estableciendo de esta forma una grilla de $7 \text{ m} \times 7 \text{ m}$, en un total de 1,02 ha, abarcando 48 surcos de 140 m de largo, para un total de 240 cuadros evaluados (Figura 1-3).

Figura 1-3: Descripción del muestreo en el cultivo de caña



Como se puede observar en los diferentes cultivos se realizaron grillas similares, pero no iguales. Esto se debe a que cada cultivo permite hacer los muestreos de diferente forma.

Con estos muestreos se conformaron bases de datos de las malezas para cada cultivo, con las que se realizaron las simulaciones de las diferentes metodologías convencionales de muestreo.

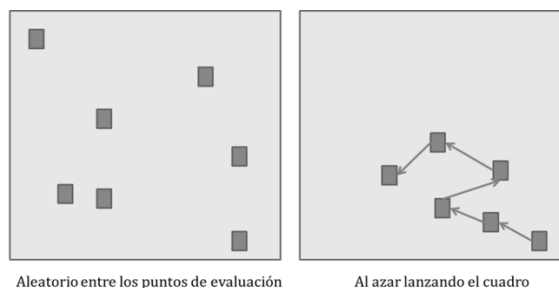
1.2.1 Simulaciones de los muestreos

Se conformaron bases de datos con la información de los puntos de muestreo de la red rígida para los diferentes cultivos. Como estos tienen coordenadas (x,y), de ésta se pueden extraer puntos evaluados que correspondan a una metodología en particular
Evaluación del número de cuadros a tomar y estimación de la riqueza

Inicialmente se simuló la técnica de mínimos cuadrados, la cual permite conocer la riqueza de especies de una comunidad y el número mínimo de muestras a realizar en un muestreo subsecuente (Fuentes, 1986). Se tomó de 1 a 10 cuadros con 10 repeticiones cada uno, con el fin de obtener el número de especies registradas con diferente cantidad de cuadros y establecer el número de cuadros a partir de los cuales se estabiliza el número de especies, además de la varianza. Esto se realizó para los tres cultivos.

Además en el cultivo de espinaca se realizó una comparación entre utilizar esta técnica aleatorizando los cuadros a tomar, considerando aleatorio como escoger algunos datos dentro de un grupo de datos, comparado con la distribución al azar “lanzando el cuadro” en el lote (Figura 1-4).

Figura 1-4: Diferencia entre la distribución de los cuadros de muestreo entre aleatorio y al azar



1.2.2 Evaluación de los tamaños de cuadro

Como se observó en la Tabla 1-1y en la Figura 11-1, en el cultivo de papa se realizó un muestreo con 4 tamaños de cuadro diferentes, desde 0,25 m² hasta 64 m², en este caso se observaron las diferencias del número de especies registradas y la cobertura (abundancia) de las mismas.

1.2.3 Evaluación de la variable utilizada

Se compararon los resultados de densidad y cobertura en el cultivo de papa, como variables de abundancia en los cuadros de 50 * 50 cm, debido a que en tamaños de cuadro más grandes es poco práctico tomar esta variable por la cantidad de individuos que se registrarían.

1.2.4 Evaluación de las distribuciones y la cantidad de cuadros en el lote en la determinación de abundancia

En el cultivo de espinaca se extrajeron datos de su respectiva base de datos, para simular diversas distribuciones de cuadros de muestreo en el lote, de acuerdo a la cantidad mínima de cuadros establecida por la técnica antes mencionada se simularon muestreos en zigzag, equis, aleatorio y uniforme. Además, se duplicó y se triplicó el número de cuadros evaluados.

1.2.5 Evaluación de las distribuciones de cuadros en el lote en la conformación de mapas

Además, con los mismos datos se conformaron mapas de distribución espacial y se evaluó la calidad de los mapas, comparándolos con el mapa que se obtuvo con todos los datos y la precisión en la estimación de la variable cobertura de tres especies de malezas presentes.

1.3 Resultados

De la Tabla 1-2 a la Tabla 1-4 se pueden observar las especies de malezas encontradas en los diferentes cultivos, con una medida de abundancia, en este caso cobertura.

Tabla 1-2: Cobertura (%) de las diferentes especies de malezas registradas en el cultivo de papa

Nombre común	Nombre científico	Cobertura (%)
Pajarito	<i>Stellaria media</i> L.	14,9
Cenizo	<i>Chenopodium petiolare</i> L.	4,2
Trébol agrio	<i>Oxalis corniculata</i> L.	2,2
Guasca	<i>Galinsoga ciliata</i> L.	2,9
Bledo	<i>Amaranthus hybridus</i> L.	2,2
Poa	<i>Poa annua</i> L.	1,4

Otras especies con valores de cobertura promedio inferiores a 1% fueron:

Bolsa de pastor (*Capsella bursa-pastoris* L.), Lechosa (*Sonchus oleraceus* L.), lengua de vaca (*Rumex crispus* L.), Senecio (*Senecio vulgaris*) L. Cotula (*Cotula australis* (Sieber ex Spreng.) Hook. F.), Altamisa (*Ambrosia* sp.), Ortiga (*Urtica urens* L.), Gualola (*Polygonum segetum* Kunth.), Miona (*Spergula arvensis* L.) Batatilla (*Ipomoea* sp.) Verónica (*Veronica pérsica* Poir.), Mastuerzo (*Lepidium bipinnatifidum* Desv.), Trébol blanco (*Trifolium repens* L.). para un total de 19 especies.

Tabla 1-3: Cobertura (%) de las diferentes especies de malezas registradas en el cultivo de espinaca.

Nombre común	Nombre científico	Cobertura (%)
Nabo morado	<i>Raphanus raphanistrum</i> L.	7,04
Gualola	<i>Polygonum segetum</i> Kunth.	4,64
Malva	<i>Fuertesimalva limensis</i> (L.) Fryxell	4,44
Cenizo	<i>Chenopodium petiolare</i> L.	4,33
Bledo	<i>Amaranthus hybridus</i> L.	1,23
Legua de vaca	<i>Rumex crispus</i> L.	1,20

26 Dinámica espacial y temporal de poblaciones de malezas en cultivos de papa, espinaca y caña de azúcar y su relación con propiedades del suelo en dos localidades de Colombia

Se encontraron otras especies con porcentajes de cobertura inferiores a 1%: Ortiga (*Urtica urens* L.), Cotula (*Cotula australis* (Sieber ex Spreng.) Hook. F.), Pajarito (*Polygonum aviculare* L.), Nabo amarillo (*Brassica campestris* subsp. *rapa* (L.) Hook. F.), Sangretoro (*Rumex acetosella* L.) y Trébol agrio (*Oxalis corniculata* L.). Para un total de 12 especies.

Tabla 1-4: Cobertura (%) de las diferentes especies de malezas registradas en el cultivo de caña de azúcar

Nombre común	Nombre científico	Cobertura (%)
Botoncillo	<i>Ageratum conyzoides</i> L.	8,45
Cerbatina	<i>Synedrella nodiflora</i> (L.) Gaertn.	6,22
Lechosa	<i>Euphorbia heterophylla</i> L.	3,68
Hierba de bola	<i>Hypytis brevipes</i> Poit.	3,61
Liberal	<i>Emilia coccinea</i> (Sims) G. Don	2,57
Paja mona	<i>Leptochloa mucronata</i> (Michaux) Kunth	1,77
Coquito	<i>Cyperus rotundus</i> L.	1,63
Siempre viva	<i>Commelina erecta</i> L.	1,54

Se encontraron especies con coberturas inferiores a 1%: Palo de laguna (*Ludwigia erecta* (L.) H. Hara), Verdolaga (*Portulaca oleracea* L.), Batatilla (*Ipomoea triloba* L.), Palo de agua (*Eclipta alba* (L.) Hassk.), para un total de 12 especies.

1.3.1 Evaluación del número de cuadros a tomar y estimación de la riqueza

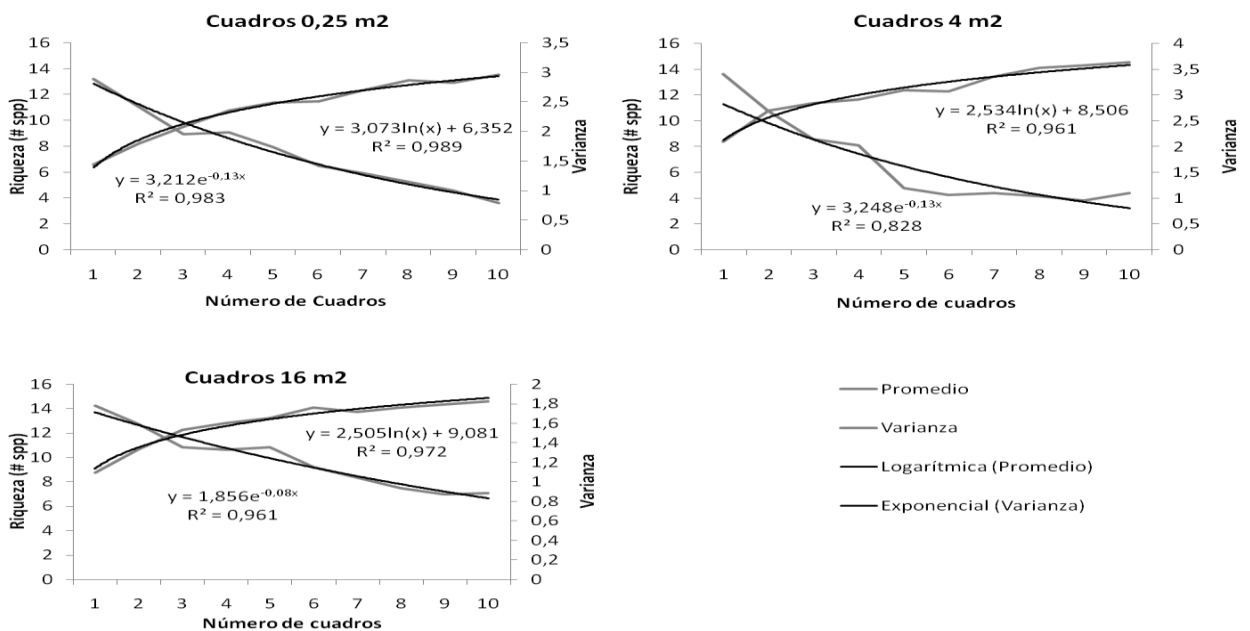
Mediante el muestreo de cuadros de 0,25 m², se encontraron 19 especies de malezas, mientras que con cuadros de 4 m², 16 m² y 64 m² se encontraron 17, 16 y 16 especies respectivamente en el cultivo de papa.

Posteriormente se simularon 20 muestreos tomando de 1 a 10 cuadros de forma aleatoria con cada uno de los tamaños de cuadro, de acuerdo a la técnica de mínimos cuadrados descrita por Fuentes, (1986) y Mostacedo & Fredericksen, (2000). Se obtuvieron los siguientes resultados (Figura 1-5 y Tabla 1-5):

Tabla 1-5: Comparación de la riqueza (mediana del número de especies en las 20 repeticiones), desviación estándar y área muestreada (%), tomando 10 cuadros de cada tamaño de cuadro.

Riqueza (spp)	Tamaño de cuadro			
	Cuadros 0,5 * 0,5	Cuadros 2 * 2	Cuadros 4 * 4	Cuadros 8 * 8
Mediana (spp)	13	14	16	16
Desviación estándar	1,18	1,05	0,89	0,47
Área muestreada (%)	0,3	5,2	20,8	83,3

Figura 1-5: Riqueza y varianza para los muestreos utilizando cuadros de 0,25 m², 4 m² y 16 m², usando de 1 a 10 cuadros en cada uno, en el cultivo de papa.



Al evaluar la riqueza con base en el tamaño de cuadro, con el cuadro de 0,25 m² se obtuvo un mayor número de especies registradas (19), esto se debe a que el número de cuadros realizados fue de 225 y muestreo de 7,32% del área (Tabla 1-1). Siendo cuadros pequeños se observa con más detalle las plántulas de malezas que se encuentran en el

28 Dinámica espacial y temporal de poblaciones de malezas en cultivos de papa, espinaca y caña de azúcar y su relación con propiedades del suelo en dos localidades de Colombia

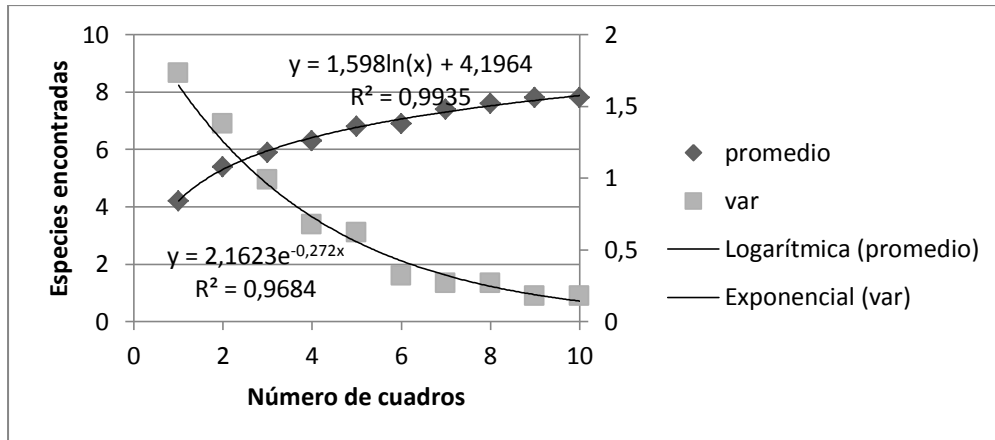
lote, incluso las más pequeñas y escasas. En cambio con tamaños de cuadros mayores, aunque el área muestreada fue mayor (100%), se dificulta la observación, sobre todo de individuos de poblaciones en los estratos inferiores o poblaciones de especies de menor abundancia.

Sin embargo, si se mantiene el mismo número de observaciones para todos los tamaños de cuadro (Tabla 1-5), el área muestreada aumenta en la medida que se aumenta el tamaño de cuadro, y también hay un aumento en el número de especies encontradas, además que la desviación estándar se reduce. Pero, en el mejor de los casos (cuadros de 16 y 64 m²) se registraron 16 especies de las 20 encontradas en total.

Adicional a esto, con los 3 tamaños de cuadro se ajustaron modelos para la riqueza (logarítmico) y para la varianza (exponencial negativo), obteniendo valores de R^2 altos (>96%) (Figura 1-5). De acuerdo con Fuentes (1986), el número mínimo de cuadros es donde la curva se estabiliza durante más de tres cuadros consecutivos. En este caso, las curvas se estabilizan a partir de 6 cuadros para todos los tamaños de cuadro, obteniendo valores de riqueza de 12 especies.

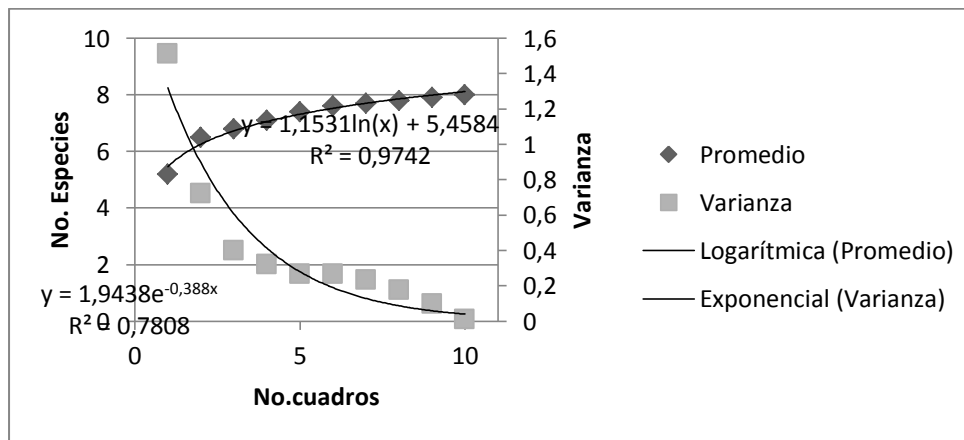
Para el cultivo de espinaca (Figura 1-6) se observa el ajuste de los modelos logarítmico en la riqueza y exponencial negativo en la varianza, con R^2 altos. En este caso, la curva obtuvo tres resultados consecutivos en 6 cuadros; sin embargo, la cantidad de especies total fue 12.

Figura 1-6: Riqueza y varianza para muestreos de 1 a 10 cuadros en el cultivo de espinaca



Para el caso de caña de azúcar, la cantidad de cuadros dio como resultado 6, en este cultivo el total de especies fue de 12, encontrándose el 50% de las especies registradas, muy similar al cultivo de espinaca. Los modelos se ajustaron de la misma forma y con resultados de R^2 alto en la riqueza y un poco más bajo en la varianza.

Figura 1-7: Riqueza y varianza para muestreos de 1 a 10 cuadros en el cultivo de caña de azúcar



Esto explica que el método para determinar el número cuadros mediante la técnica de especies-área, registra en promedio la mitad de las especies encontradas; por lo tanto

30 Dinámica espacial y temporal de poblaciones de malezas en cultivos de papa, espinaca y caña de azúcar y su relación con propiedades del suelo en dos localidades de Colombia

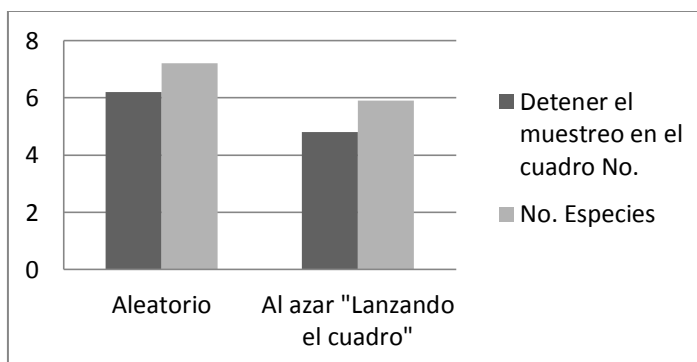
teniendo como objetivo estimar la riqueza de un lugar, este número de cuadros no es óptimo, debiendo aumentar significativamente la cantidad de cuadros muestreados para encontrar la mayoría de las especies en el lote.

Asumiendo en este caso que encontrar el 80% de las especies es aceptable, según los modelos ajustados, el número de cuadros para registrar el 80% de las especies presentes se puede observar en la Tabla 1-6.

Tabla 1-6. Características del muestreo para obtener cerca del 80% de las especies en los diferentes cultivos

Tamaño de cuadro	Total de especies	Especies a encontrar	No. de cuadros que se deben tomar	Área mínima muestreada (m ²)	% de área muestreada
Papa 0,25 m ²	20	17	32	8	1,04
Papa 4 m ²	20	17	28	112	14,58
Papa 16 m ²	20	17	24	384	50,00
Caña 4 m ²	12	10	48	192	1,81
Espinaca 4 m ²	12	10	36	144	1,36

Figura 1-8: Comparación de la determinación del número mínimo de cuadros mediante dos metodologías, en el cultivo de espinaca



Como se puede observar en el Figura 1-8 de forma aleatoria se necesitan más cuadros para estabilizar la curva de especies-área, por lo tanto se registran más especies que de forma al azar en el lanzamiento de cuadro, incluso estas diferencias fueron

estadísticamente significativas en una prueba Tukey (Anexo 1). Estas diferencias se deben a que en el lanzamiento de cuadro los puntos evaluados no están separados unos de otros lo suficiente como para que aparezcan otras especies, debido a la dependencia espacial de la variable, es decir, distribución en parches. Mientras que al aleatorizar los puntos de evaluación, la posición de cada cuadro no depende de la posición en el espacio de los demás puntos.

1.3.2 Evaluación de los tamaños de cuadro

Se comparó la variable cobertura con tres tamaños de cuadro (0,25 m², 4 m² y 16 m²), para la especie cultivo y dos especies de malezas (*S. media* y *C. petiolare*), debido a que *S. media* era la especie dominante (14,9%) en el lote y *C. petiolare* (4,2%) se encontraba en segundo lugar aunque muy por debajo de *S. media*; las demás especies de maleza tenían bajos valores de cobertura en el lote.

Tabla 1-7: Cobertura (%) por especie mediante la utilización de los diferentes tamaños de cuadro.

Cobertura (%) por especie						
Tamaño de cuadro	Cultivo	Dif*	<i>S. media</i>	Dif*	<i>C. petiolare</i>	Dif*
Cuadros 0,25 m²	21	c	18	a	4.2	a
Cuadros 4 m²	44	b	14	ab	0.19	b
Cuadros 16 m²	52	a	13	b	0.08	b

*Tamaños de cuadro con la misma letra no tienen diferencia significativa

En la Tabla 1-7 se puede observar que el valor de la cobertura de las plantas de cultivo es más alta en los tamaños de cuadro mayores, esto se debe a la edad y porte de dicha planta, mas no por ser el cultivo, el cual cubre las plantas de malezas presentes, que en el momento del muestreo tenían un tamaño inferior al cultivo. Por esta misma razón la cobertura de las plantas de malezas es menor al aumentar el tamaño del cuadro.

1.3.3 Evaluación de la variable utilizada en el muestreo

Se comparó la variable cobertura vs la variable densidad en el muestreo realizado con tamaños de cuadro de 0,25 m², para las dos especies de malezas mencionadas anteriormente y la especie de cultivo (Tabla 1-8)

Tabla 1-8: Cobertura (%) y densidad (# ind/área de cuadro), para tres especies de plantas en el muestreo realizado con tamaños de cuadros de 0,25 m²

Variable	Especie		
	<i>S. media</i>	<i>C. petiolare</i>	Cultivo papa
Cobertura (%)	18	4,2	21
Densidad (# Ind/0.25m²)	22	17	2,5

No existe una relación entre el número de plantas y la cobertura de estas, ya que esto es intrínseco de cada especie y su estado fenológico; sin embargo, la especie que dominaba en el lote era el cultivo de papa, la cual presentó el mayor valor de cobertura y el menor valor de densidad, *S. media* como la principal maleza, presentó el mayor valor de cobertura y de densidad entre las malezas, y *C. petiolare* fue la segunda especie de maleza en cobertura, el cual fue muy bajo (2,5%), pero un valor alto de densidad debido al estado en el que se encontraba (plántulas).

Por esta razón y en este caso en particular, la cobertura es más adecuada como variable de abundancia ya que sus valores permiten entender mejor la realidad en el lote. Es decir, de forma cualitativa la variable cobertura explica de mejor forma la abundancia de las poblaciones. Sin embargo, se detectaron situaciones en campo en las que la cobertura no es la mejor variable, aumentando el error de su cálculo por parte del evaluador, por ejemplo, cuando la cobertura de la comunidad es muy alta o muy baja. Cuando es muy alta se dificulta el cálculo por cada especie ya que estas se superponen unas a otras, en estos casos es mejor utilizar otra variable (v.g. densidad, conteo de estructuras reproductivas) en cuadros más pequeños. Y cuando la cobertura de la comunidad es muy baja es mejor usar densidad en cuadros más grandes.

1.3.4 Evaluación de cantidad y distribución de cuadros en el lote en la determinación de la abundancia

Se escogieron cuatro especies de plantas de acuerdo con el grado de agregación que presentaron en el lote. Como se puede esperar, el cultivo de espinaca presentó el menor grado de agregación con base en el índice de Morisita, muy cercano a 1, lo que indica uniformidad o poca agregación. Las otras especies, como *P. segetum* presentaron valores de Morisita de 1,68, la cual fue la especie de maleza que menor valor tuvo; *F. limensis* con un índice de 3.45 tuvo un grado medio entre todas las especies encontradas, y *U. urens*, registró el mayor valor de agregación, 9,48.

Adicionalmente, se encontró que la distribución de la variable no fue normal (Figura 1-9), para ninguna especie. De hecho, la distribución se acerca más a una distribución Gamma, e incluso el cultivo que se supone más homogéneo también sesgo hacia la izquierda. Para las malezas se puede observar un gran número de datos “cero”, y pocos valores muy altos, que como se va a observar en los mapas de distribución, corresponde a la realidad de la comunidad.

Dentro de los diferentes métodos de distribución de cuadros, el menor valor de coeficiente de variación lo presentó la muestra general, ya que contó con 269 puntos de evaluación; sin embargo, este coeficiente aumentó, cuando se evaluaba una especie con mayor índice de agregación. De esta forma, la correlación entre el coeficiente de variación y el índice de agregación fue de 99,91. Esto indica que, a medida que una especie ocurre en forma más agregada, el muestreo va a ser menos confiable en la estimación de la variable de abundancia para todo el lote (Cottam, *et al.*, 1957). Resulta de esta forma más importante encontrar en qué lugar esta dicha población y plantear manejos por sitio específico (Wiles, 2005).

En el caso de una especie que se distribuye de forma más uniforme. La forma en la cual se distribuyen los puntos de evaluación no incide de forma importante en la estimación de la variable. La cantidad de puntos de evaluación sí afecta de cierta forma la confiabilidad del resultado. A medida que aumenta el número de cuadros, disminuye el coeficiente de variación. Esto se puede observar en la **¡Error! La autoreferencia al**

34 Dinámica espacial y temporal de poblaciones de malezas en cultivos de papa, espinaca y caña de azúcar y su relación con propiedades del suelo en dos localidades de Colombia

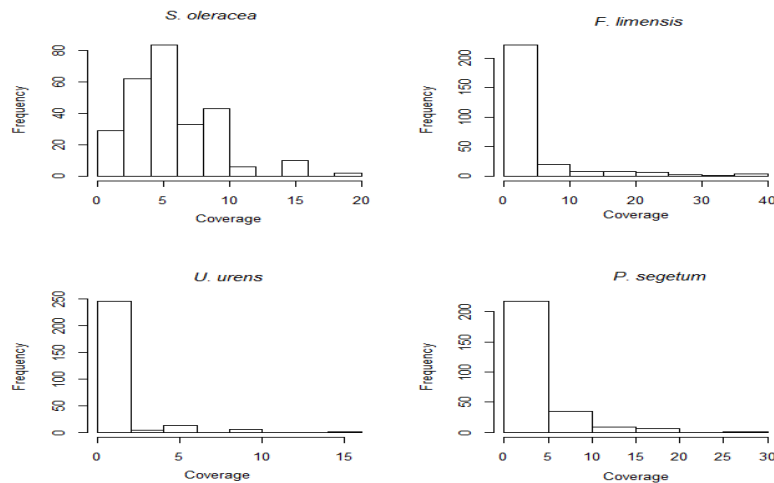
marcador no es válida. en el cuadro superior izquierdo, que corresponde con la especie de cultivo (Cottam *et al.*, 1957).

Tabla 1-9: Media, error estándar y coeficiente de variación de la cobertura (%) de cuatro especies de plantas con diversos índices de agregación, obtenidos en las diferentes distribuciones y números de cuadros de muestreo en el cultivo de espinaca

S. oleracea				P. segetum			
	Morisita: 1,19				Morisita: 1,68		
Método	Media	Err std	CV	Método	Media	Err std	CV
Todos los datos	5,95	0,22	3,70	Todos los datos	4,64	0,27	5,78
Grilla 12 cuadros	5,83	0,74	12,63	Equis 18 cuadros	4,33	0,54	12,52
Equis 12 cuadros	5,08	0,69	13,58	Grilla 18 cuadros	4,83	0,89	18,34
Grilla 18 cuadros	5,94	0,81	13,63	Equis 12 cuadros	5,50	1,01	18,39
Zigzag 18 cuadros	6,28	0,87	13,92	Zigzag 18 cuadros	5,06	0,99	19,55
Equis 18 cuadros	5,28	0,78	14,76	Zigzag 6 cuadros	3,83	0,83	21,74
Grilla 6 cuadros	5,00	0,77	15,49	Zigzag 12 cuadros	5,33	1,18	22,06
Aleatorio 6 cuadros	6,67	1,05	15,81	Aleatorio 18 cuadros	2,61	0,60	22,99
Aleatorio 18 cuadros	6,50	1,06	16,28	Aleatorio 12 cuadros	2,83	0,75	26,37
Zigzag 12 cuadros	6,50	1,08	16,56	Aleatorio 6 cuadros	4,17	1,40	33,61
Aleatorio 12 cuadros	5,75	1,05	18,31	Grilla 6 cuadros	4,50	1,52	33,82
Zigzag 6 cuadros	6,00	1,29	21,52	Grilla 12 cuadros	4,75	1,62	34,10
Equis 6 cuadros	6,33	1,76	27,85	Equis 6 cuadros	3,83	1,35	35,27
F. limensis				U. urens			
	Morisita: 3,45				Morisita: 9,48		
Método	Media	Err std	CV	Método	Media	Err std	CV
Todos los datos	4,44	0,44	9,99	Todos los datos	0,61	0,12	19,37
Equis 18 cuadros	3,50	0,74	21,20	Aleatorio 18 cuadros	0,78	0,35	44,78
Equis 12 cuadros	3,42	0,87	25,34	Equis 18 cuadros	0,61	0,38	62,25
Zigzag 18 cuadros	3,00	0,84	28,13	Grilla 6 cuadros	1,67	1,05	63,25
Aleatorio 18 cuadros	7,17	2,65	36,96	Grilla 18 cuadros	0,39	0,28	72,43
Zigzag 12 cuadros	6,92	2,97	42,88	Grilla 12 cuadros	0,58	0,43	74,48
Equis 6 cuadros	4,67	2,17	46,51	Zigzag 12 cuadros	0,50	0,42	83,48
Grilla 12 cuadros	4,17	2,07	49,77	Aleatorio 12 cuadros	0,08	0,08	100,00
Aleatorio 6 cuadros	5,67	2,99	52,68	Equis 12 cuadros	0,83	0,83	100,00
Aleatorio 12 cuadros	6,08	3,27	53,74	Aleatorio 6 cuadros	0	0	NA
Grilla 18 cuadros	3,83	2,18	56,84	Equis 6 cuadros	0	0	NA
Grilla 6 cuadros	4,83	3,11	64,42	Zigzag 6 cuadros	0	0	NA
Zigzag 6 cuadros	4,67	4,08	87,42	Zigzag 18 cuadros	0	0	NA

Err std: Error standard; CV: coeficiente de variación

Figura 1-9: Distribución de la variable cobertura para las cuatro especies descritas



A medida que aumenta el grado de agregación, la confiabilidad en la estimación de la cobertura de las distribuciones de cuadros en zigzag, equis y aleatoria, dependerá de la posición de los parches de malezas en el lote y de cuantos puntos alcance a registrar. Como se puede observar en el caso de *U. urens*, (Tabla 1-9) la cual no fue registrada en los muestreos aleatorio, equis y zigzag que contaban con la menor cantidad de puntos y el zigzag con la mayor cantidad de puntos, el zigzag con cantidad media de puntos, registro solo en uno de los 12 sitios.

El método de distribución de cuadros en forma de grilla y que tenía la mayor cantidad de cuadros presentó generalmente menor coeficiente de variación y un valor cercano al del muestreo general, ya que ésta distribución garantiza un muestreo más uniforme y mayor probabilidad de encontrar los parches de las especies más agregadas. Sin embargo, para las especies con grado de agregación medio o alto, un valor de abundancia promedio o general para todo un lote carece de confiabilidad para cualquier proceso de toma de decisiones.

1.3.5 Evaluación de las distribuciones de cuadros en el lote en la conformación de mapas

De forma evidente en las Figuras Figura 1-11 Figura 1-12, se puede observar que al aumentar la cantidad de cuadros de muestreo, los mapas se acercan más a la distribución de la población que se encontró en el mapa con la utilización de todos los datos (Figura 1-10). Sin embargo, son poco precisas a excepción de la red rígida de 18 puntos, en la cual se puede ver el parche de esta maleza en el mismo sitio y con la misma cobertura que en el del mapa con todos los datos (269 puntos).

Las distribuciones en zigzag, aleatorio y equis, no son prácticas para su uso en la formación de mapas de distribución, debido a que dejan porciones del lote sin muestrear. Lo más conveniente es realizar muestreos sistemáticos uniformes (grillas), la cantidad de puntos de evaluación dependerá de la precisión que se requiera, el tamaño del lote y los recursos disponibles para su realización..

Figura 1-10. Mapa de distribución en el lote de, *F. limensis* usando todos los datos del muestreo

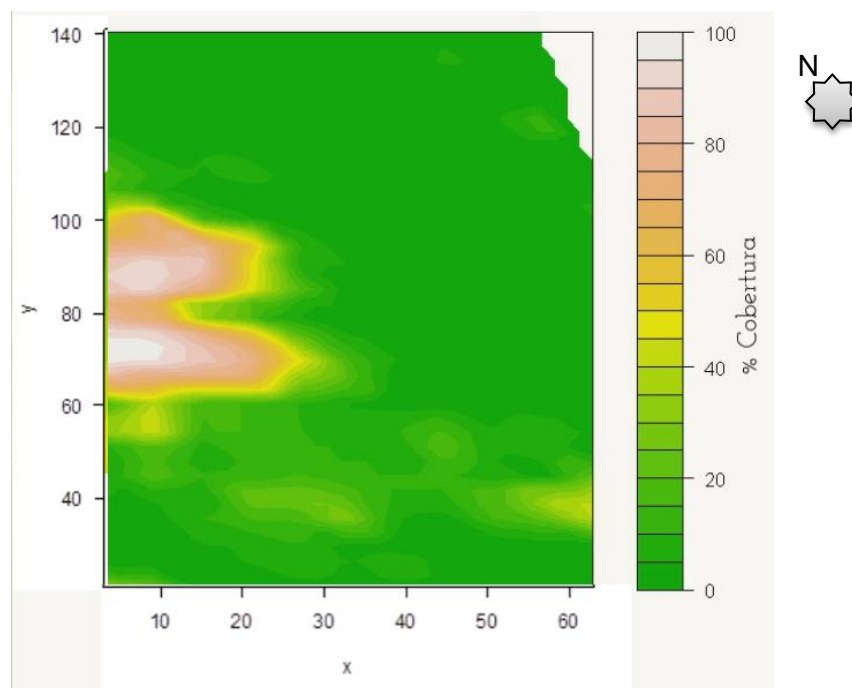


Figura 1-11. Comparación cualitativa de las diferentes cantidades y distribuciones de puntos de muestreo (1)

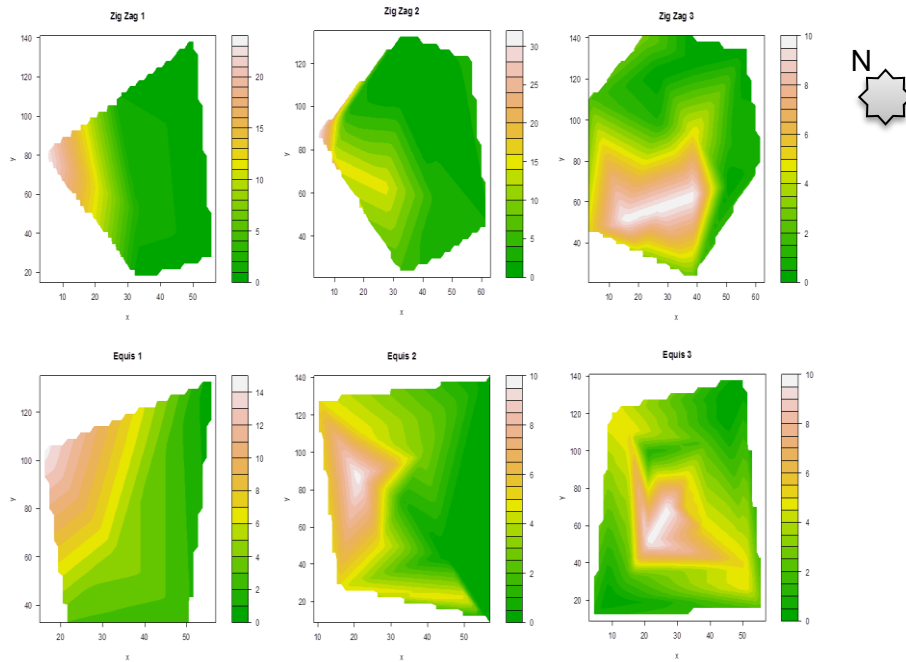
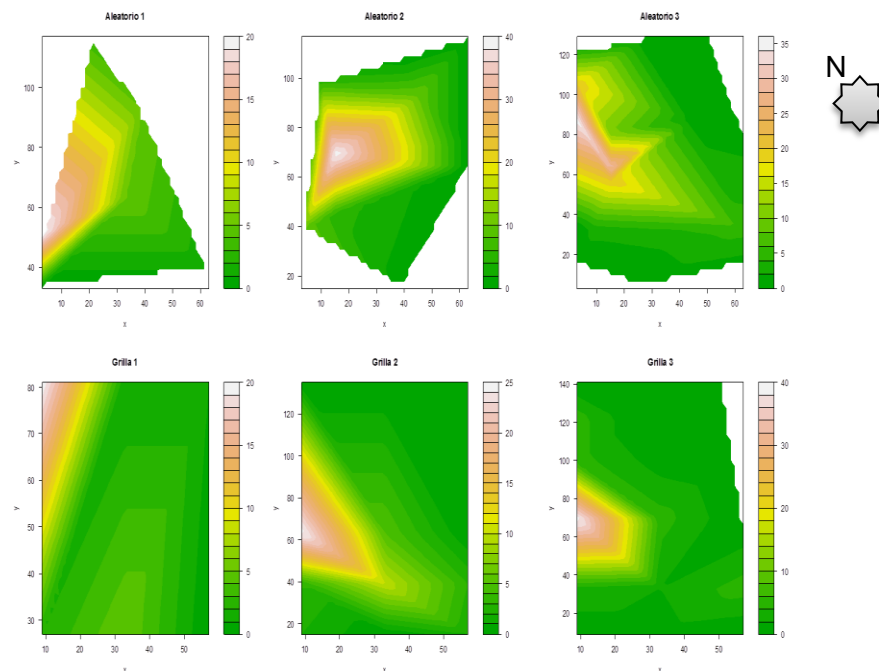


Figura 1-12. Comparación cualitativa de las diferentes cantidades y distribuciones de puntos de muestreo (2)



1.4 Conclusiones

Para estimar la riqueza de especies de malezas de un lugar, es preferible usar gran cantidad de cuadros pequeños ($<4\text{ m}^2$); debido a que estos permiten explorar con más detalle los estratos bajos y encontrar las especies de porte más bajo y más escasas.

Para la estimación de la riqueza de un lote, el uso de la técnica de cuadros mínimos para ser efectiva debe usarse en forma aleatoria y no al azar. Es decir, estos cuadros deben disponerse aleatoriamente sobre todo el lote, en lugar de lanzar o ampliar el cuadro cerca de donde se empieza a hacer el muestreo. Esto debido a la dependencia espacial de las malezas (agregación), lo cual hace que la curva de especies-área llegue a su límite muy pronto, dejando sin registrar nuevas especies.

Según los resultados obtenidos, una buena forma de aproximarse a la cantidad de cuadros para los diversos muestreos es: 10-12 cuadros de 4 m^2 por ha, para muestreos de riqueza; al menos 18 cuadros de 4 m^2 para muestreos de abundancia y superiores a 150 también de 4 m^2 , para formación de mapas detallados.

En general, la cobertura es una variable fácil de medir, rápida y confiable, debido a que permite ser utilizada en cuadros grandes ($>4\text{ m}^2$), lo cual permite muestrear un área mayor. Además, como se observó en el caso de *C. petiolare* en el cultivo de papa, la cobertura estima mejor la abundancia de las malezas que la densidad, ya que esta última depende del estado fenológico de las plantas

Para la estimación de variables de abundancia, los muestreos en zigzag o equis o al azar - aleatorios dependen de la suerte en obtener información de los diferentes parches, y su precisión es menor cuando las poblaciones son más agregadas. Por ejemplo *U. urens*, la especie con mayor índice de agregación no fue reportada en los muestreos en X y zigzag con menor número de puntos, en cambio, los muestreos uniformes permitieron encontrar los principales parches de malezas. Por esto, lo más conveniente es realizar muestreos sistemáticos y uniformes (grillas), desde cuadros grandes hacia pequeños, de acuerdo a las características del lote, tamaño y porte de las malezas y el cultivo.

De acuerdo con los resultados encontrados en el cultivo de papa, cuadros de 4 m² son apropiados en diversas circunstancias de muestreo, debido a que cuadros más pequeños no registran suficiente área y además puede resultar en muchos cuadros vacíos. Cuadros muy grandes (16m²) sobreestiman el valor de abundancia de las poblaciones dominantes y subestiman los valores de las poblaciones más escasas.

Utilizar un valor general de abundancia para un lote no es conveniente debido a la agregación de las malezas. Es decir, un valor dado tiene un grado de confiabilidad estadística, pero desde el punto de vista técnico ese valor será representativo para solo una fracción de dicho lote. Por ejemplo, *U. urens*, cuya cobertura promedio es de 0.12%, por lo cual se considera una especie de baja importancia, pero en el parche en donde se encontraba, este valor llega hasta 90% en el momento de la cosecha. Esto la convierte en la especie más importante en ese lugar. Lo anterior manifiesta la importancia de plantear manejos específicos por sitio o por parches.

2. Distribución espacial y dinámica temporal de algunas poblaciones de malezas en un cultivo de espinaca y en un cultivo de caña de azúcar

2.1 Introducción

Es conocido que las poblaciones de malezas se distribuyen de forma agregada en un lote (Gonzalez-Andujar & Saavedra, 2003; Heijting *et al.*, 2007; Jurado-Exposito *et al.*, 2004). Marshall (1988), realizó un estudio en el cual comparó intensidades de muestreo y concluye que los datos de la variable densidad (ind/m^2) son dispersos y se acercan a una distribución de frecuencias binomial negativa para cada especie. Lo que es característico para variables que se distribuyen de forma agregada en el espacio.

Realizar un muestreo que permita el estudio de las variables de abundancia como variables espaciales, interpolar los datos y crear mapas que sirvan para el entendimiento de la distribución de las malezas en el espacio ha sido ampliamente estudiada y discutida (Amador & Escobedo, 2004; Ambrosio, *et al.*, 2004; Cousens & Mortimer, 1995; Gonzalez-Andujar & Saavedra, 2003; Jurado-Exposito *et al.*, 2004; Krohmann, *et al.*, 2006; Rew & Cousens, 2001a, 2001b; Walter, *et al.*, 2002), concluyendo que las poblaciones de malezas presentan dependencia espacial en menor o mayor medida, de acuerdo a las diferentes metodologías de muestreo, a las características de las poblaciones, de la composición de la comunidad, de algunas propiedades del suelo y la topografía del lote.

Para el caso colombiano se reporta esta situación en Arrieta, *et al.*, (2006) quienes estudiaron las poblaciones de *Spermacoce tenuior* L. y *Digitaria longiflora* (Retz.) Pers. en cultivos de maíz y soya en rotación en la altillanura, construyendo variogramas y

42 Dinámica espacial y temporal de poblaciones de malezas en cultivos de papa, espinaca y caña de azúcar y su relación con propiedades del suelo en dos localidades de Colombia

realizando interpolación de datos usando kriging. Concluyeron que las poblaciones de malezas se distribuyen de forma agregada y que su variable es dependiente del espacio.

Sin embargo, el método de interpolación usado va a depender de diversas circunstancias, como el comportamiento de la variable y también de la precisión requerida. Por esta razón Rew & Cousens, (2001) preguntan si kriging es necesario para el proceso de toma de decisiones en el manejo específico por sitio y concluyen que no siempre es necesario usar kriging como método de interpolación, entre otras cosas debido a que en general la variable evaluada en las malezas se distribuye de forma binomial negativa y no de forma normal. Esta conclusión debe estudiarse desde el punto de vista de los investigadores en países desarrollados y de clima templado como EEUU o la UE, debido a que el uso de umbrales de acción, forma parte de la toma de decisiones de manejo y por lo tanto requieren de una precisión muy alta.

En cuanto a la estabilidad en el tiempo, diversos autores han estudiado esta dinámica: Heijting *et al.*, (2007), concluyen que los parches tienen alta dependencia espacial y estabilidad en el tiempo, a excepción de una especie cuya estabilidad era sensible a la rotación de cultivos. Jurado-Exposito, *et al.*, (2004), demostraron la estabilidad de los parches de *Convolvulus arvensis* L. en cuatro ciclos de cultivo, dos de trigo seguidos de dos de girasol. Por su parte Krohmann, *et al.*, (2006), demostró la estabilidad de los parches de *Alopecurus myosuroides*, después de cinco ciclos de cultivo.

En Colombia no se utilizan los umbrales de acción debido a la complejidad de la dinámica poblacional de malezas y a la escasa investigación en el tema. Por esta razón, para este tipo de estudios en las condiciones colombianas no se requiere de alta precisión en la estimación de variables como densidad o cobertura, sino conocer en qué parte del lote se encuentran ubicados los parches de cada especie de maleza y hacer un manejo específico por parche.

El objetivo de este capítulo es determinar la distribución espacial y la dinámica temporal de algunas poblaciones de malezas y observar el comportamiento de la cobertura como variable en la medida de abundancia

2.2 Metodología para el estudio de la distribución espacial

En el Centro Agropecuario Marengo (CAM), Mosquera, Cundinamarca, Colombia, se estableció un cultivo de 1,12 ha de espinaca (*Spinacia oleracea* L.) con el fin de observar y analizar en un cultivo comercial las poblaciones de malezas presentes. Se realizó un muestreo en forma de grilla (red rígida) de 6 m * 6 m, que coincidía cada dos camas de cultivo. En total se evaluaron 269 puntos con un cuadro de 4 m² en el cual se midió la cobertura (%) por especie.

Como réplica se realizó un muestreo también en red rígida en un cultivo de caña de azúcar de 1,02 ha, en la hacienda La Italia, Palmira, Valle del Cauca. En este caso el muestreo fue de 7 m * 7 m, que coincidían cada cuatro surcos de caña para un total de 240 puntos, en los cuales se evaluó la cobertura (%) en cuadros de 4m². Las características del muestreo en el lote para ambos cultivos se describieron en el capítulo anterior

Se conformaron bases de datos de ambos cultivos con los que se estudió el comportamiento de la cobertura como variable de medida de la abundancia de malezas, iniciando con estadística descriptiva, índice de agregación de Morisita e histogramas de la distribución de la frecuencia de los datos. Posteriormente, se generaron semivariogramas para estudiar la dependencia espacial de la variable cobertura. Todo esto se realizó con el software R, paquetes base, gstat, geoR y vegan.

Se realizó interpolación de datos en tres formas para evaluación cualitativa y descriptiva (lineal, spline y kriging). Con la interpolación se construyeron mapas de contornos para la variable cobertura. Esto se realizó con el software Surfer ®, con el fin de entender la distribución espacial de las malezas.

44 Dinámica espacial y temporal de poblaciones de malezas en cultivos de papa, espinaca y caña de azúcar y su relación con propiedades del suelo en dos localidades de Colombia

2.3 Resultados distribución espacial

En el cultivo de espinaca se encontraron 12 especies de malezas, de las cuales se analizan siete: *Urtica urens* L., *Raphanus raphanistrum* L., *Polygonum segetum* Kunth., *Fuertesimalva limensis* (L.) Fryxell, *Chenopodium petiolare* L., *Amaranthus hybridus* L. y *Rumex crispus* L. Las otras especies no se incluyen debido a su bajo porcentaje de cobertura en el lote.

En el cultivo de caña se encontraron 12 especies de malezas, de las cuales se van a analizar siete: *Ageratum conyzoides* L., *Leptochloa mucronata* (Michaux) Kunth, *Cyperus rotundus* L., *Euphorbia heterophylla* L., *Commelina erecta* L., *Synedrella nodiflora* (L.) Gaertn., e *Hyptis brevipes* Poit. Las otras especies no se incluyen debido a su baja abundancia en el lote.

El cultivo de espinaca por su porte, permite el crecimiento de las malezas, siendo a su vez más susceptible a la competencia. El cultivo de caña tenía en promedio 40 cm de altura, lo cual hace que sea menos susceptible a la competencia con las malezas y a su vez conlleva a que estas crezcan menos o presenten menor cobertura.

Se encontró que casi todas las malezas se distribuyen de forma agrupada (en negrita Tabla 2-1), de acuerdo a tres criterios: el primero es el índice de Morisita, el cual no es sensible a la media de la población e indica: si el valor es menor a 1 la población se distribuye de forma uniforme, si es cercano a 1 la población se distribuye de forma aleatoria y si es superior a 1, indica que la población se distribuye de forma agregada. El segundo es una relación entre la media y la desviación estándar como el coeficiente de variación, el cual indica: si el valor es superior a 100 la población se distribuye de forma agregada, si es menor a 100 se distribuye de forma uniforme y si el valor es cercano a 100 se distribuye de forma aleatoria (Booth *et al.*, 2003; Caamal, 2004; Cottam *et al.*, 1957; Ramirez, 1999).

2 Distribución espacial y dinámica temporal de algunas poblaciones de malezas en un cultivo de espinaca y en un cultivo de caña de azúcar 45

Tres especies se distribuyeron de forma no agregada según el criterio del coeficiente de variación; sin embargo, se distribuyeron de forma agregada siguiendo los dos criterios restantes.

El cultivo es la única especie que no presenta esta distribución, lo cual es de esperarse, además sus índices se acercan a valores de distribución de agregación débil (Morisita) y uniforme (coeficiente de variación).

Tabla 2-1: Estadística descriptiva e índice de agregación para las siete especies de malezas encontradas en el cultivo de espinaca y siete especies del cultivo de caña

Cultivo	Especie	Media	Varianza	Desv std	CV	Índice agregación Morisita
Espinaca	Cultivo espinaca	6,00	21,60	4,65	77,46	1,19
	<i>R.raphanistrum</i>	25,34	842,46	29,03	114,55	2,27
	<i>F.limensis</i>	13,45	575,99	24,00	178,44	4,10
	<i>P.segetum</i>	6,88	84,47	9,19	133,64	2,64
	<i>A.hybridus</i>	5,49	86,89	9,32	169,77	3,69
	<i>C.petiolare</i>	4,00	78,51	8,86	221,52	5,64
	<i>U.urens</i>	3,67	223,35	14,94	407,31	17,27
	<i>R.crispus</i>	3,26	73,80	8,59	263,79	7,63
Caña de azúcar	<i>A.conyzoides</i>	8,45	39,79	6,31	74,65	1,44
	<i>S. nodiflora</i>	6,22	20,15	4,49	72,15	1,36
	<i>E. heterophylla</i>	3,68	12,69	3,56	96,70	1,66
	<i>H. brevipes</i>	3,61	17,83	4,22	117,02	2,09
	<i>L. mucronata</i>	1,77	4,19	2,05	115,84	1,77
	<i>C.rotundus</i>	1,63	5,94	2,44	149,62	2,62
	<i>C. erecta</i>	1,54	10,79	3,29	213,10	4,89

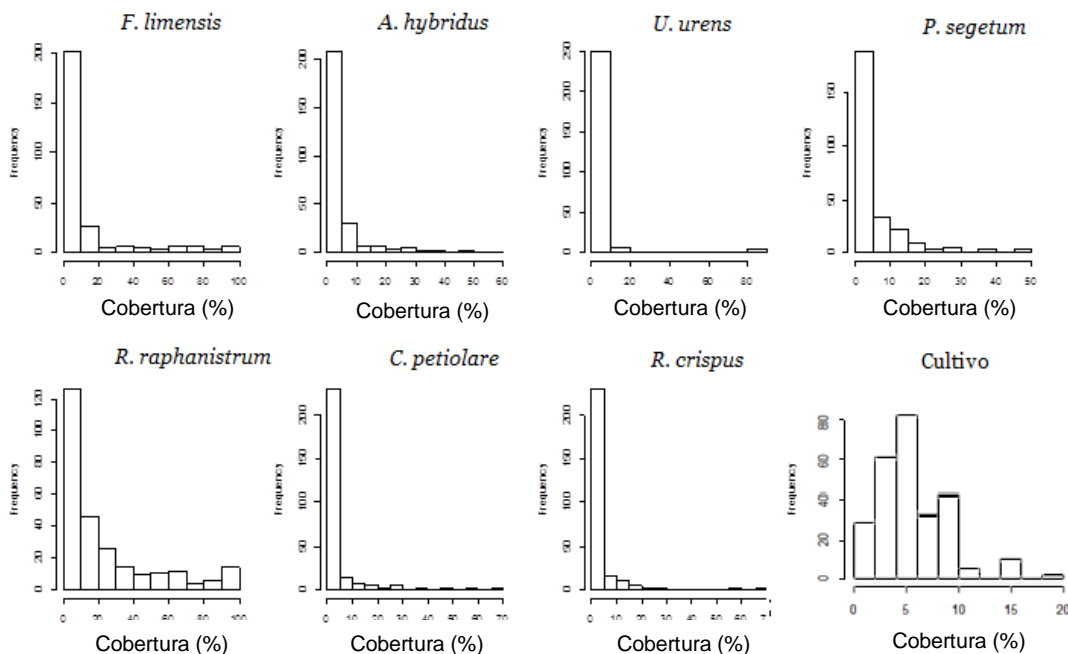
46 Dinámica espacial y temporal de poblaciones de malezas en cultivos de papa, espinaca y caña de azúcar y su relación con propiedades del suelo en dos localidades de Colombia

La distribución de la variable en los histogramas (**¡Error! La autoreferencia al marcador no es válida.** y Figura 2-2), indica la agregación o uniformidad de la población. En este caso la distribución es binomial negativa o poisson (distribuciones muy sesgadas hacia la izquierda), ambas indican distribución agregada (Ramirez, 1999).

Estas tres metodologías llevan a concluir que las malezas se distribuyen de forma agregada en parches; sin embargo, para entender la distribución de cada una en el campo se deben conformar mapas y para esto se debe realizar interpolación de los datos para calcular su valor en lugares no muestreados y lograr graficarlos.

Se han utilizado algunas metodologías de interpolación para hacer mapas de poblaciones de malezas; entre estas, la interpolación lineal, spline y krigging son las más comunes (Conklin, 2004; Wiles, 2005). Como se mencionó anteriormente, el uso de cada una depende del comportamiento de la variable, que tan preciso se quiera ser y de las características del muestreo. En este caso se realizaron los tres tipos de interpolación comentados para *F. limensis* y *R. raphanistrum* y comprobar de forma cualitativa la calidad de los mapas.

Figura 2-1: Histogramas de la cobertura de siete especies de malezas del cultivo de espinaca



2 Distribución espacial y dinámica temporal de algunas poblaciones de malezas en un cultivo de espinaca y en un cultivo de caña de azúcar

47

Figura 2-2: Histogramas de la cobertura de siete especies de malezas del cultivo de caña de azúcar.

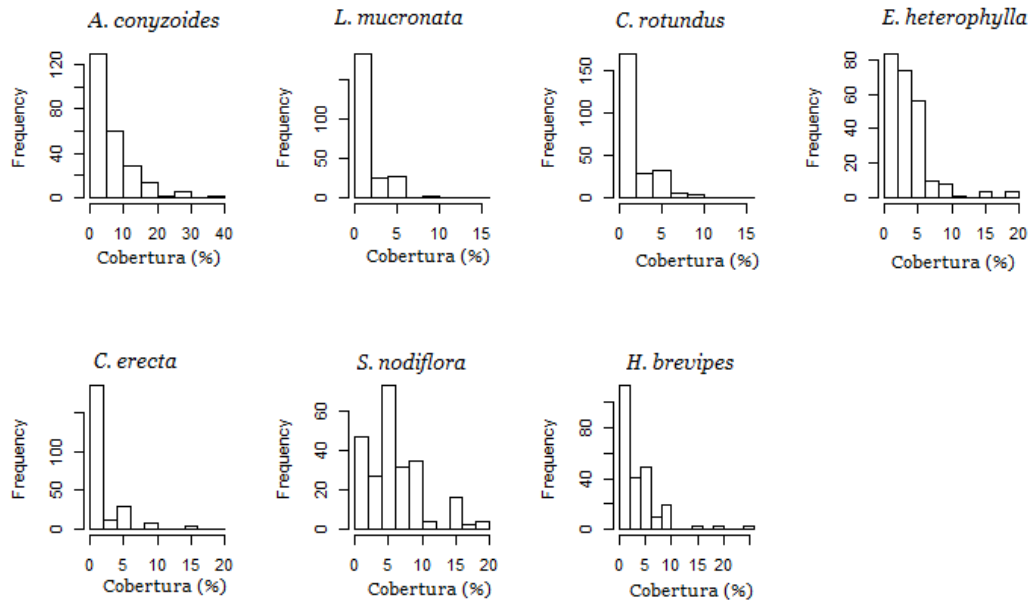
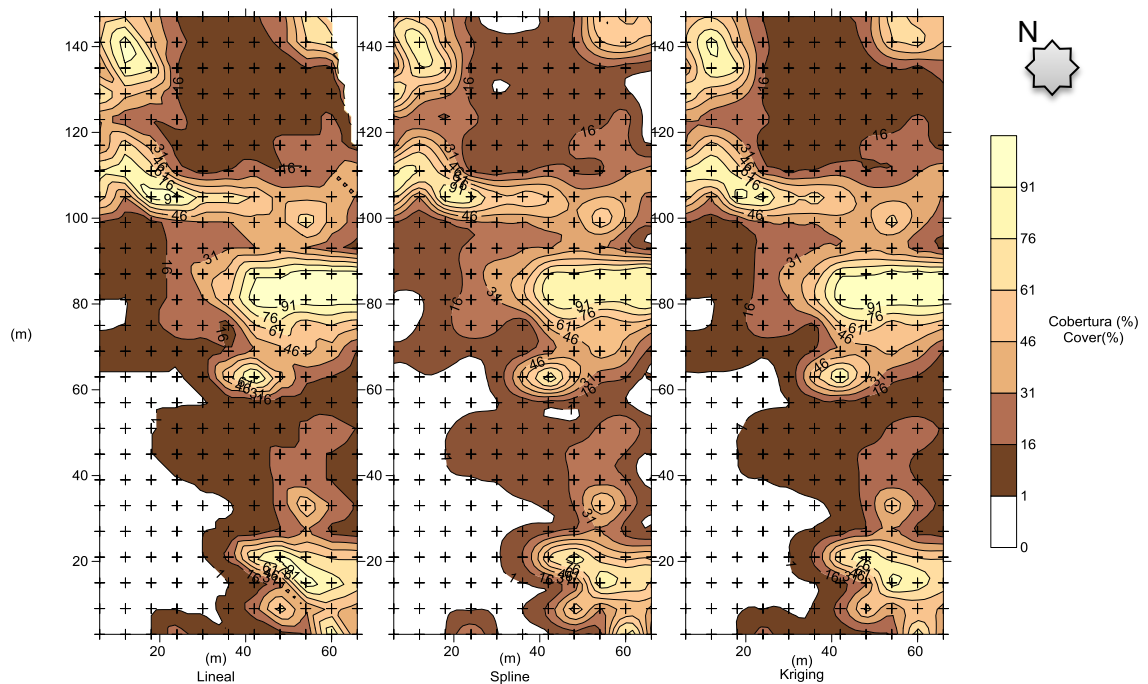
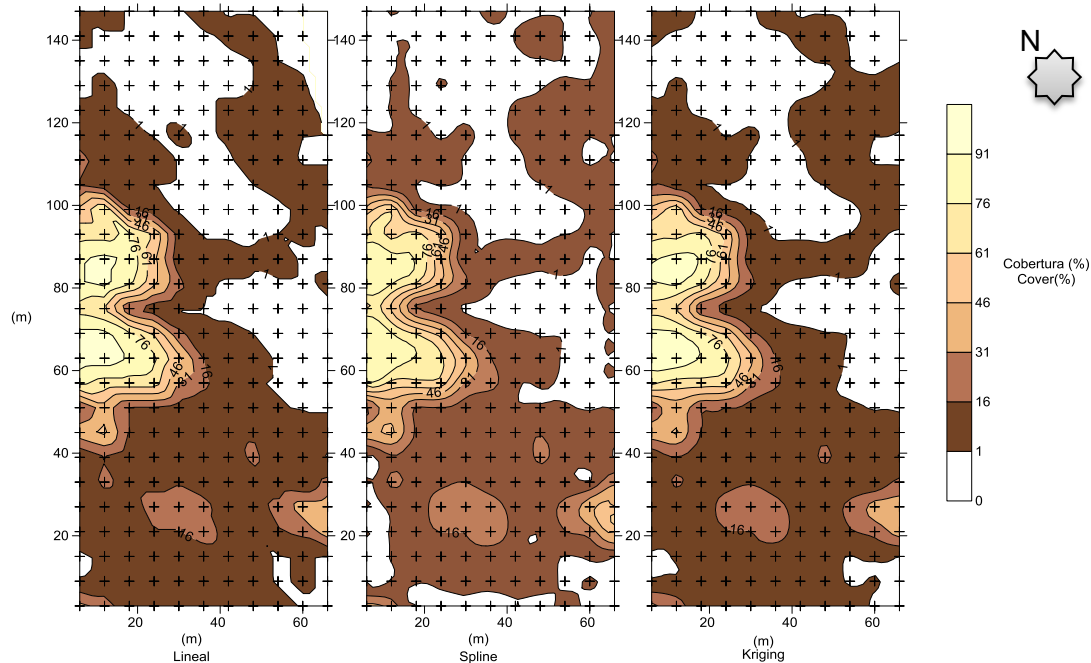


Figura 2-3: Mapas de *R. raphanistrum* provenientes de tres formas diferentes de interpolación: lineal, spline y kriging.



48 Dinámica espacial y temporal de poblaciones de malezas en cultivos de papa, espinaca y caña de azúcar y su relación con propiedades del suelo en dos localidades de Colombia

Figura 2-4: Mapas de *F. limensis* provenientes de tres formas diferentes de interpolación: lineal, spline y kriging.



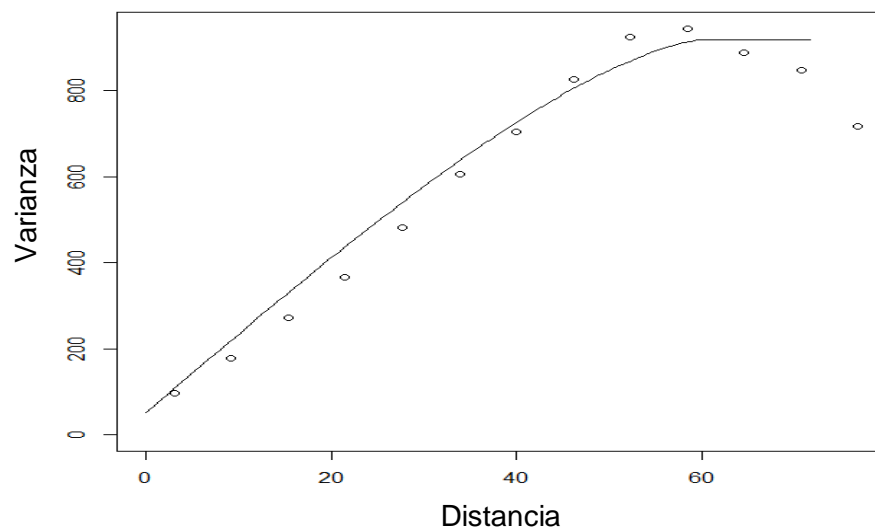
Los tres mapas de las dos especies muestran la distribución de la población en el lote de forma casi idéntica, ligeras diferencias se pueden apreciar en la suavidad de los contornos en spline y kriging y algunas diferencias en la precisión del cálculo de la variable; sin embargo, como se mencionó anteriormente, en Colombia no se utilizan umbrales de acción para el control por lo que esta precisión carece de importancia (Figura 2-4)

El semivariograma (Figura 2-5) indica si la variable presenta dependencia espacial, es decir si el valor de la variable en cualquier punto en el lote depende de los valores que están cerca, y que tanto disminuye su dependencia a medida que aumenta la distancia entre estos (Conklin, 2004).

Es de esperar que la semivarianza en el semivariograma aumente a medida que aumenta la distancia entre los puntos; esto indica, que puntos cercanos tienen valores similares (semivarianza baja a menor distancia) y que puntos lejanos entre si son diferentes, es decir, la varianza entre estos aumenta (Conklin, 2004)

Adicionalmente, se puede observar la posición de la gran cantidad de datos que son cercanos a uno o cero, de acuerdo a lo visto en los histogramas. Esta distribución de la variable puede causar problemas en el cálculo del semivariograma, ya que se podría interpretar que todos estos valores son semejantes, cuando en realidad no existe población en dichos lugares, por lo que aparentemente (en el semivariograma) siempre va a mostrar dependencia espacial y esto resulta perjudicial para la interpolación vía krigging (Bohorquez, 2010).

Figura 2-5: Semivariograma para *F. limensis* utilizando todos los datos del lote.

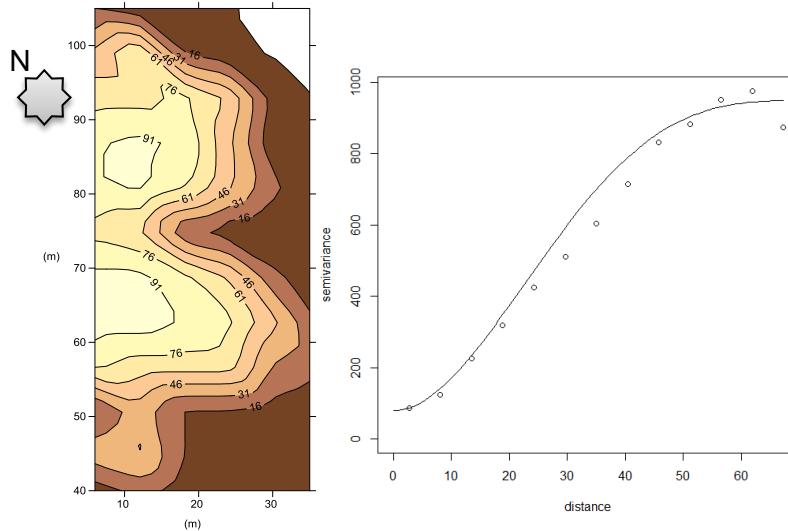


Se sugiere que en casos como este en los que existe un gran número de valores cercanos a cero, se forme un mapa solo en donde se encuentran la mayoría de los datos con valores altos; es decir, el parche, y se calcule el semivariograma solamente con los datos de ese lugar (Bohorquez, 2010).

Como se puede observar el semivariograma cambia de silla, pepita, aunque la distancia es similar, y tiende a ser cúbica (Figura 2-6). Sin embargo, entender esto desde el punto de vista geoestadístico no es el alcance de este trabajo y se encuentra entre las recomendaciones de investigación.

50 Dinámica espacial y temporal de poblaciones de malezas en cultivos de papa, espinaca y caña de azúcar y su relación con propiedades del suelo en dos localidades de Colombia

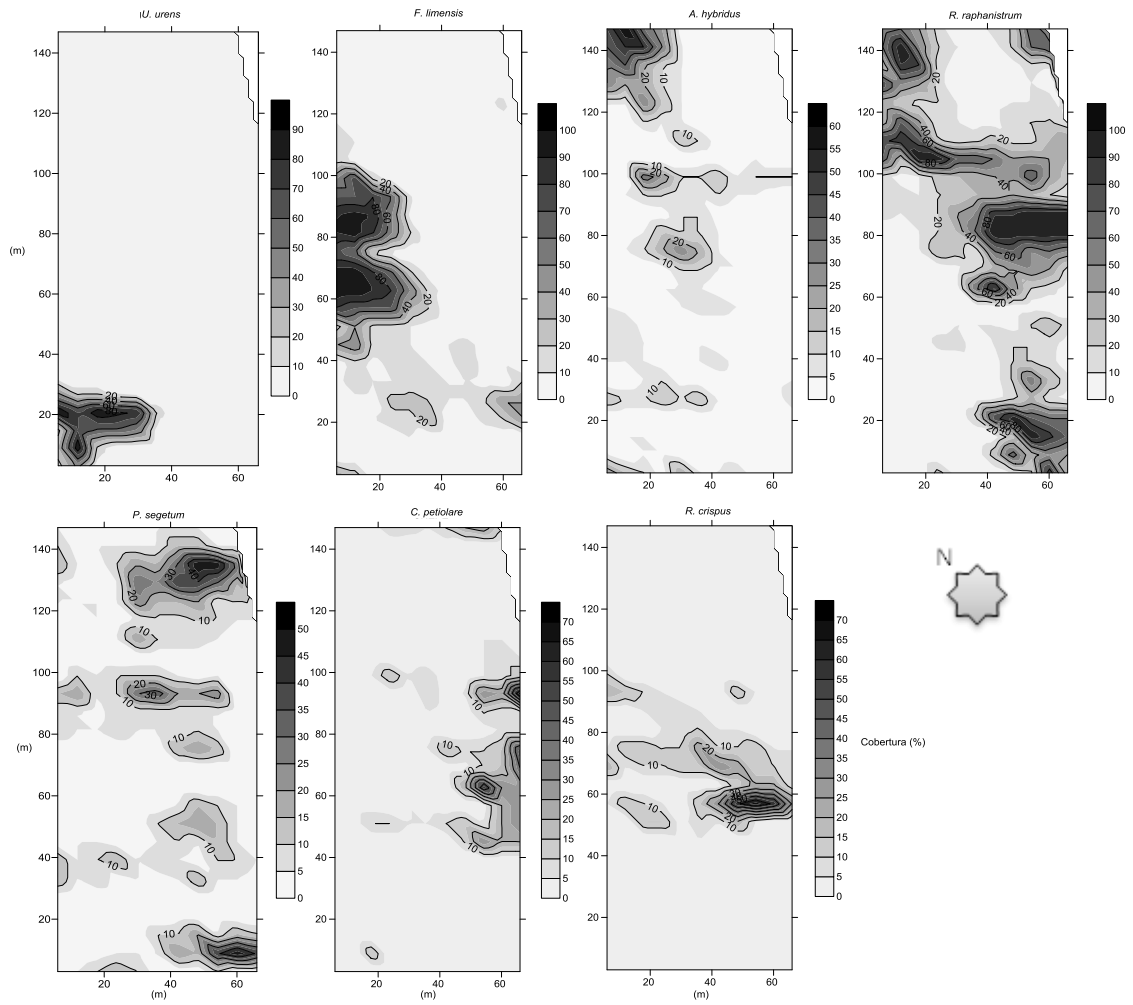
Figura 2-6: Sección del lote en donde se presenta *F. limensis* y su respectivo semivariograma



Bajo los parámetros de la investigación, es decir, 269 puntos en 1,16 ha en red rígida, se demostró que se puede usar cualquier método de interpolación sin afectar la detección de la posición del lugar en donde se presentan los parches de las malezas. Con base en esto se procedió a realizar los mapas de las demás especies y encontrar la posición en donde se encontraban en el lote (Figura 2-7 y Figura 2-8).

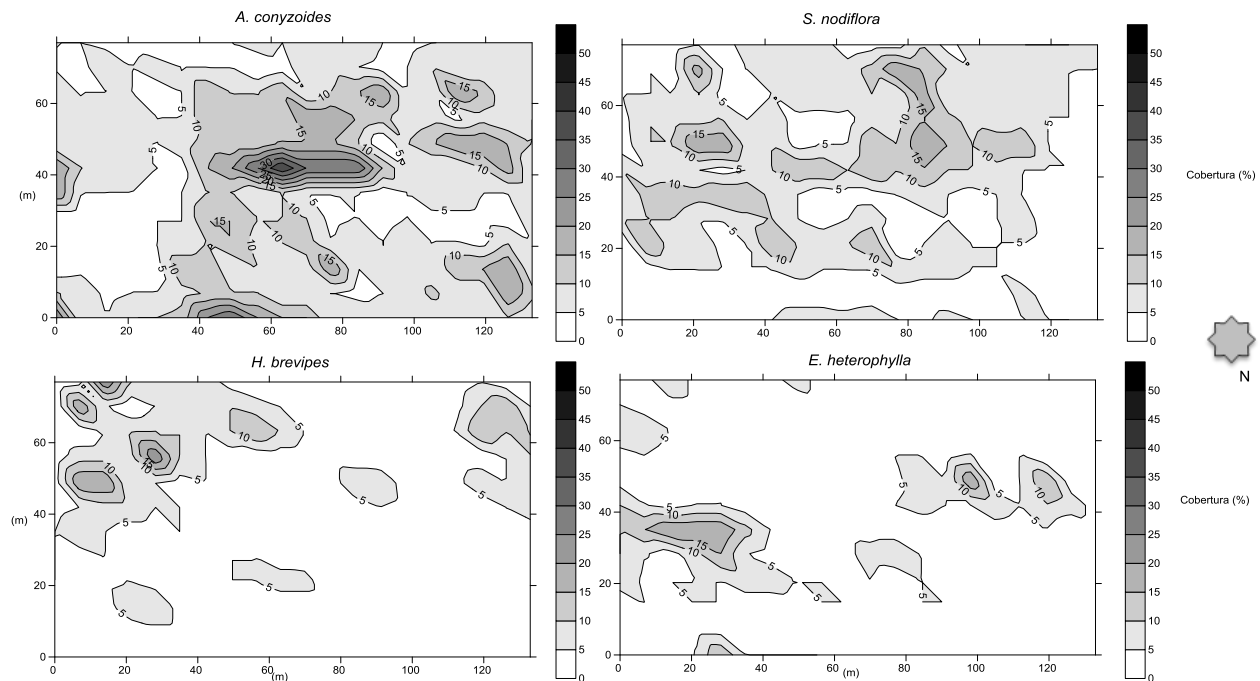
2 Distribución espacial y dinámica temporal de algunas poblaciones de malezas en un cultivo de espinaca y en un cultivo de caña de azúcar

Figura 2-7: Distribución espacial de la cobertura (%) de siete especies de malezas en el lote de espinaca



52 Dinámica espacial y temporal de poblaciones de malezas en cultivos de papa, espinaca y caña de azúcar y su relación con propiedades del suelo en dos localidades de Colombia

Figura 2-8: Distribución espacial de la cobertura (%) de cuatro especies de malezas en el lote de caña de azúcar

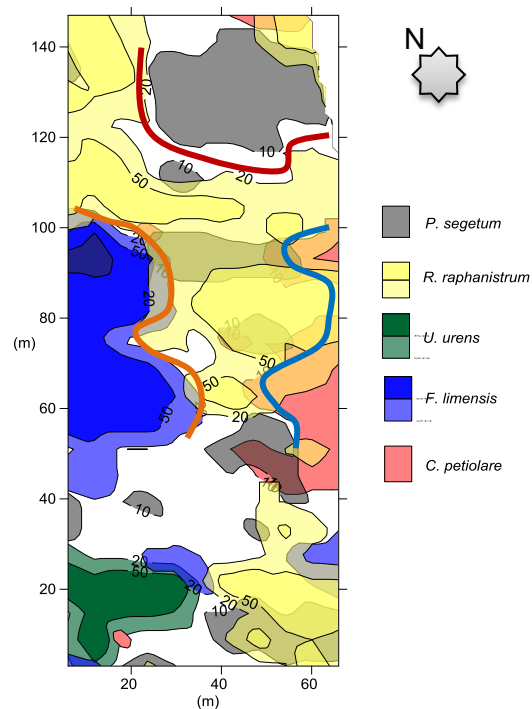


Desde el punto de vista comparativo en ambos cultivos las malezas se distribuyen en parches y fue posible crear los mapas de las especies con mayores coberturas promedio (>3%). En el cultivo de espinaca se observó mayor agregación y cobertura de las especies en su respectivo parche, los cuales fueron más definidos, mientras que en el cultivo de caña las especies fueron más homogéneas, los parches más sutiles y sus bordes menos definidos. Esto puede deberse a la homogeneidad del sistema de producción ya que en el cultivo de caña en el Valle del Cauca no existe rotación de cultivos y en el cultivo de espinaca se tiene registros de estar sembrados con diferentes cultivos en diferentes lugares del lote en ciclos pasados. Otra razón, puede ser debido a que el suelo sea más homogéneo en el cultivo de caña que en el cultivo de espinaca, ya que se ha encontrado que las poblaciones de malezas responden de forma sensible a variaciones en el suelo (Walter *et al.*, 2002).

2 Distribución espacial y dinámica temporal de algunas poblaciones de malezas en un cultivo de espinaca y en un cultivo de caña de azúcar 53

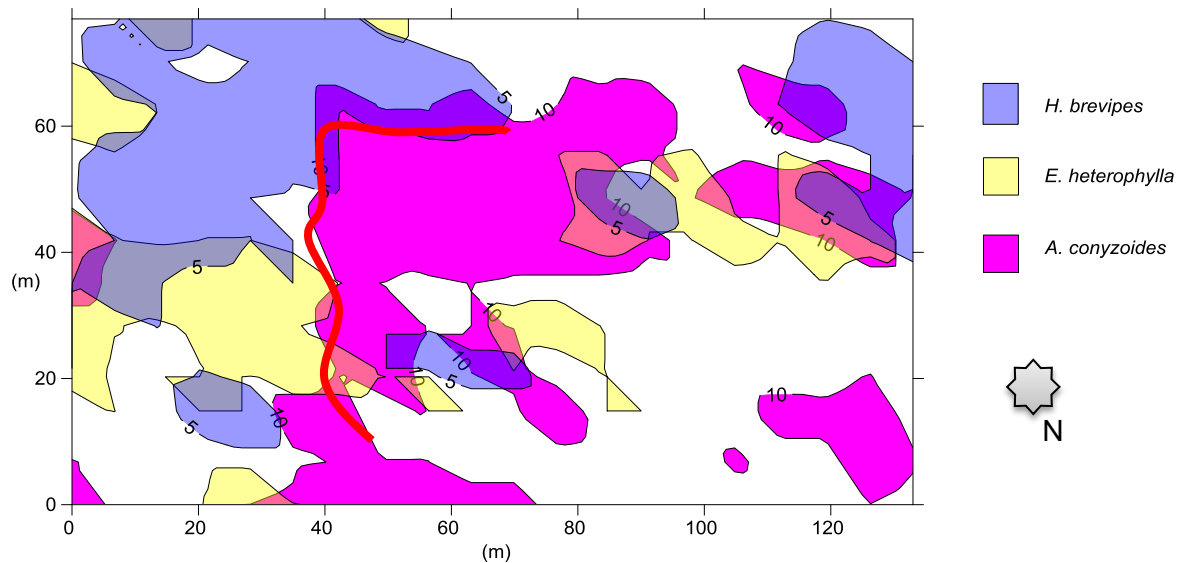
Para ambos cultivos fue posible realizar mapas (Figura 2-9 y Figura 2-10) en los cuales se pueden observar los lugares de los parches y sus límites, cuando estos son definidos. Se observan en diferentes colores las diferentes especies de malezas, cada parche en el mapa representa el 85% superior del valor de la cobertura para cada especie, es decir los datos con valores entre el 0 y 15% de su cobertura no son graficados. Lo cual nos revela los lugares en donde la cobertura es mayor (parche). Los lugares en blanco son donde ninguna especie presentaba dominancia. Es posible observar los límites definidos entre los parches, por ejemplo en el cultivo de espinaca, entre *P. segetum* y *R. raphanistrum* (línea roja), entre *R. raphanistrum* y *F. limensis* (línea naranja), y entre *R. raphanistrum* y *C. petiolare* (línea azul). Y en el cultivo de caña el parche de *A. conyzoides* (línea roja) es el más definido, ya que todos sus bordes delimitan con los de las otras especies. Los otros no son tan definidos, y se presentan áreas sin dominancia de alguna especie.

Figura 2-9: Mapa con la posición de los parches de cinco especies de malezas en el cultivo de espinaca



54 Dinámica espacial y temporal de poblaciones de malezas en cultivos de papa, espinaca y caña de azúcar y su relación con propiedades del suelo en dos localidades de Colombia

Figura 2-10: Mapa con la posición de los parches de tres especies de malezas en el cultivo de caña de azúcar



2.4 Metodología para el estudio de la dinámica temporal

Se realizaron 6 muestreos a través del tiempo en tres ciclos de cultivo de espinaca de 1,16 ha, ubicado en el CAM, Mosquera, Cundinamarca. En este lugar la precipitación anual es en promedio de 600 mm; sin embargo, desde finales del año 2009, hasta marzo de 2010, tiempo en el que se desarrolló el primer ciclo de cultivo la lluvia fue escasa, alcanzando 70 mm en los dos meses del cultivo, debido al fenómeno del niño. Durante todo el año 2010, tiempo en el cual se establecieron los dos últimos ciclos, la precipitación fue de 2050 mm, casi toda concentrada entre abril y octubre, debido al fenómeno de la niña.

En cada ciclo de cultivo se realizó un muestreo en el momento de la desyerba manual y otro muestreo inmediatamente antes de la cosecha, los cuales son a los 35 y 70 días después de la siembra, respectivamente. Cada muestreo consistió en una red rígida de 6m * 6m adaptándose a las características de siembra de la espinaca en camas de 2m y

calles de 1m, para un total de 269 puntos evaluados con cuadros de 4 m². Es de destacar que en cada uno de los seis muestreos se muestreó exactamente en el mismo lugar. Además también se registró la altura en planimetría para realizar un plano topográfico.

Posteriormente se interpolaron los datos para construir mapas de las diferentes poblaciones encontradas en cada uno de los 6 momentos y el plano topográfico (Figura 2-11). Se analizó cualitativamente (visual) la posición de los parches de cada especie y su estabilidad a través del tiempo con los diferentes mapas, de acuerdo a Jurado-Exposito *et al.*, (2004).

2.5 Resultados dinámica temporal

Se encontraron 19 especies de malezas en el lote, de las cuales las siete más importantes se consideraron para el estudio espacial y temporal, de acuerdo a su abundancia (Tabla 2-2).

Tabla 2-2: Especies de malezas encontradas en el cultivo de espinaca

Nombre científico	Código	Nombre científico	Código
<i>Urtica urens</i> L.	URTUR	<i>Polygonum segetum</i> Kunth..	POLSE
<i>Fuertesimalva limensis</i> (L.) Fryxell	FUELI	<i>Chenopodium petiolare</i> L	CHEPE
<i>Amaranthus hybridus</i> L.	AMAHY	<i>Rumex crispus</i> L.	RUMCR
<i>Raphanus raphanistrum</i> L.	RAPRA		

El realizar dos muestreos por ciclo permitió observar el efecto del manejo de malezas en la dinámica poblacional, dentro de cada ciclo y muestrear durante tres ciclos de cultivo permitió apreciar la dinámica a largo plazo, influenciada principalmente por condiciones climáticas (Tabla 2-3).

Las condiciones climáticas durante los tres ciclos fueron variables y extremas, pasando de fenómeno del niño a fenómeno de la niña (IDEAM, 2009, 2010). Esto influyó de forma importante en las variaciones de las poblaciones, en donde se logró reconocer la

56 Dinámica espacial y temporal de poblaciones de malezas en cultivos de papa, espinaca y caña de azúcar y su relación con propiedades del suelo en dos localidades de Colombia

susceptibilidad o tolerancia de las diferentes especies tanto a la sequía como a la inundación. Además, el influyente efecto de la topografía del lote sobre en la humedad del suelo, los lugares más bajos conservaran la humedad y los lugares altos se secan más rápido.

Figura 2-11: Mapa topográfico del lote, altura (cm), de acuerdo al nivel medio

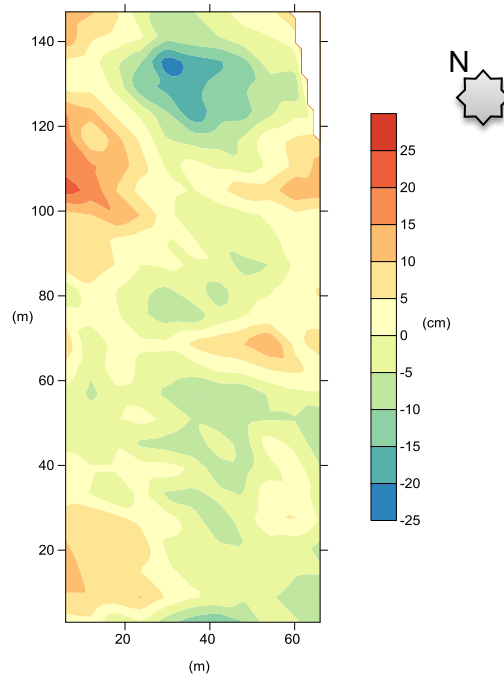


Tabla 2-3: Muestréos, condiciones de humedad y precipitación promedio

	Ciclo 1		Ciclo 2		Ciclo3	
Muestreo	1	2	3	4	5	6
Momento	Previo a desyerba	Previo a cosecha	Previo a desyerba	Previo a cosecha	Previo a desyerba	Previo a cosecha
Condición	Sequia riego	Sequia	Inundado	Inundado	Inundado	Moderado
Precipitación	20 mm/mes	10 mm/mes	270 mm/mes	200 mm/mes	100 mm/mes	80 mm/mes
Semana	4ta Nov-2009	1ra Ene-2010	1ra may-2010	2da Jun-2010	2da Oct-2010	3ra Dic-2010

En el primer ciclo se presentó sequía, en el segundo ciclo se inundó severamente la mitad norte del lote, mientras que en el tercer ciclo se inundó todo el lote pero de forma menos severa.

El parche de *U. urens*, (Figura 2-12) fue el más estable desde el punto de vista espacial, ya que se encontró siempre en el mismo sitio (coordenadas x,y: 20,20), en la esquina sur-occidental del lote, y su parche tuvo siempre la misma forma a excepción del último muestreo en donde por las condiciones de humedad su cobertura fue inferior a los otros ciclos (de >40% a <10%). Esta especie “responde” bien a la desyerba, es decir, vuelve a poblar el espacio libre con nuevas cohortes y es muy competitiva contra el cultivo y otras especies, en el lugar donde se ha establecido

El parche de *F. limensis* (Figura 2-13) se encontró en el mismo lugar en 2 de los 3 ciclos (coord. 20,80), se puede observar en el lado occidental del mapa. Debido a la inundación del segundo ciclo no se encontraron plantas de esta especie en dicho lugar, pero si se encontraron en el lado sur del lote, aunque con bajas coberturas (5%). Vale destacar que aunque no se encontraron plantas en el segundo ciclo, el parche vuelve a aparecer en el mismo lugar y con la misma forma, habiendo entre estos una diferencia casi de un año (observar muestreo 1 y muestreo 5). Esta especie se recupera de la desyerba y vuelve a ser competitiva con el cultivo mientras las condiciones de humedad sean adecuadas; se puede observar que entre el muestreo 1 y 2, la cobertura baja de 60% a 40% en el centro del parche (condiciones secas), pero entre el muestreo 5 y 6 la cobertura aumenta de 32% a 50% en el centro del parche (condiciones húmedas).

Amaranthus hybridus, (Figura 2-14) prospera y se recupera muy bien de la desyerba en condiciones secas, ya que la cobertura en el muestreo 2 (10% en parches) es similar al del muestreo 1, al contrario que *F. limensis*. Mientras que en condiciones húmedas (entre el muestreo 5 y 6), la cobertura fue inferior y escasamente se encontró en algunos lugares (<5%). Además, se observa que en el segundo ciclo la especie solo se encontró en los lugares elevados en el lado sur del lote, el cual no se inundó. Vale destacar, que esta especie no es tan competitiva como las otras malezas en las condiciones de la

58 Dinámica espacial y temporal de poblaciones de malezas en cultivos de papa, espinaca y caña de azúcar y su relación con propiedades del suelo en dos localidades de Colombia

sabana de Bogotá, ya que su cobertura siempre fue inferior (10%), comparada con las demás especies.

Figura 2-12: Distribución espacial de *U. urens* durante los 6 muestreos

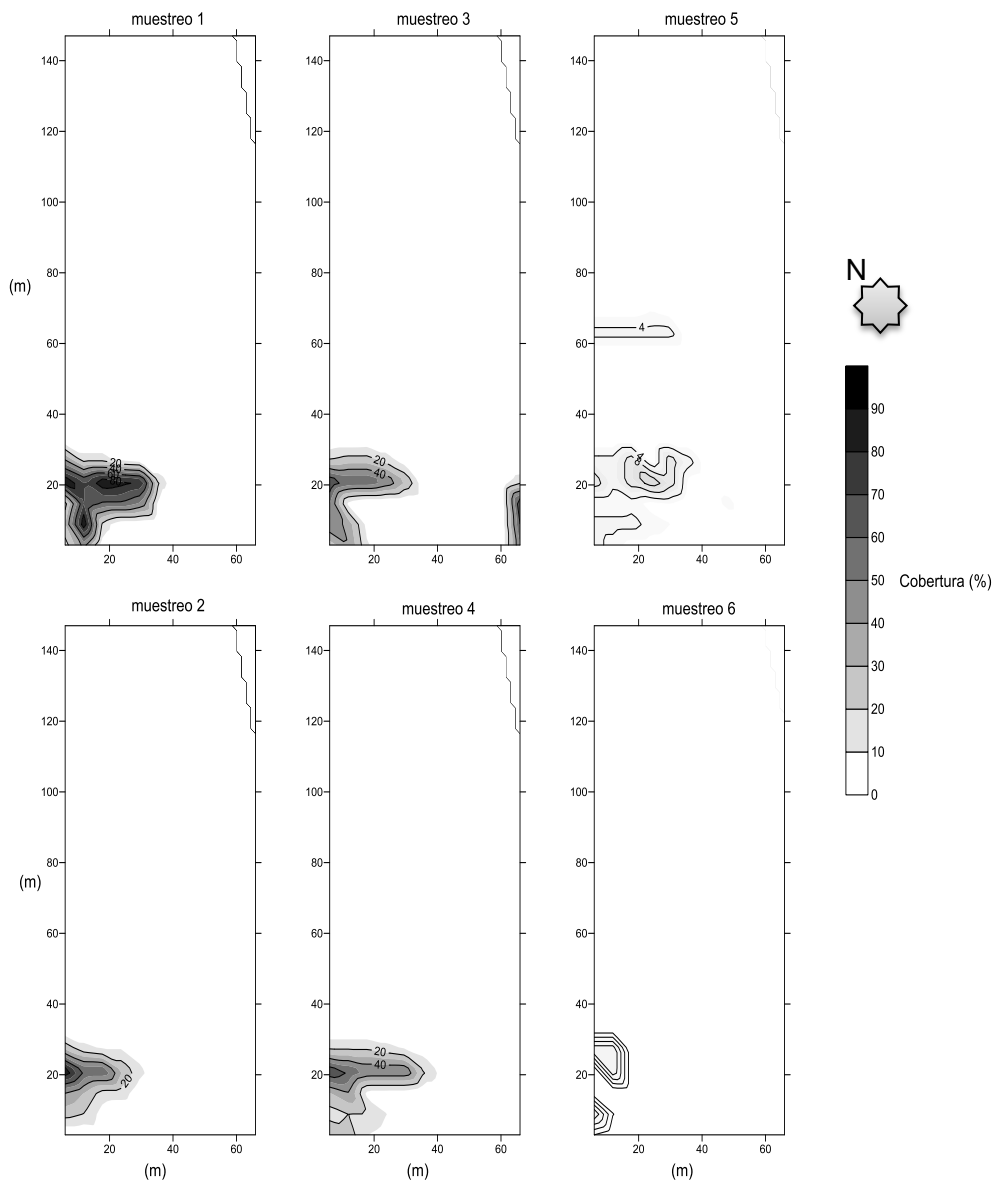
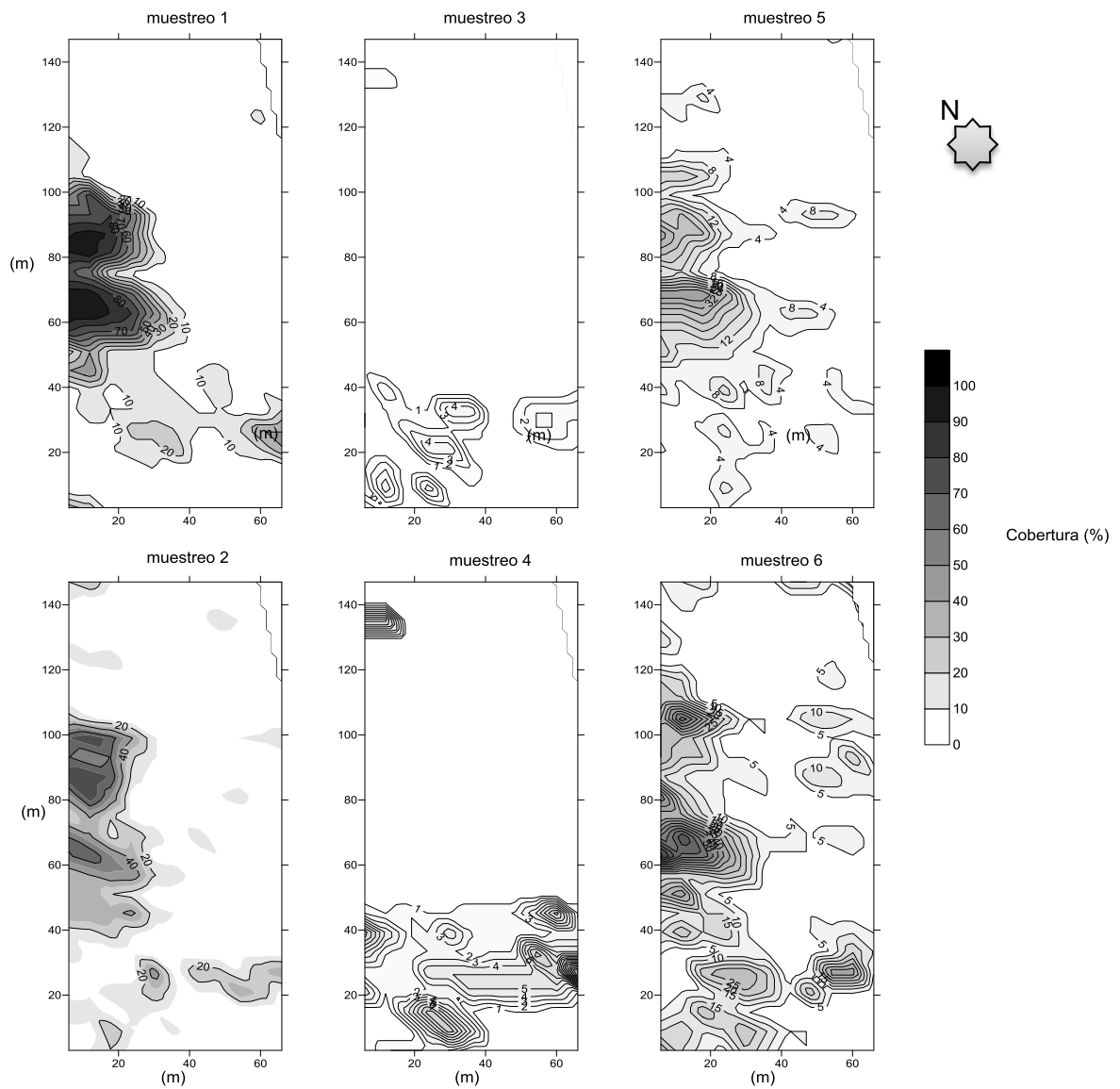
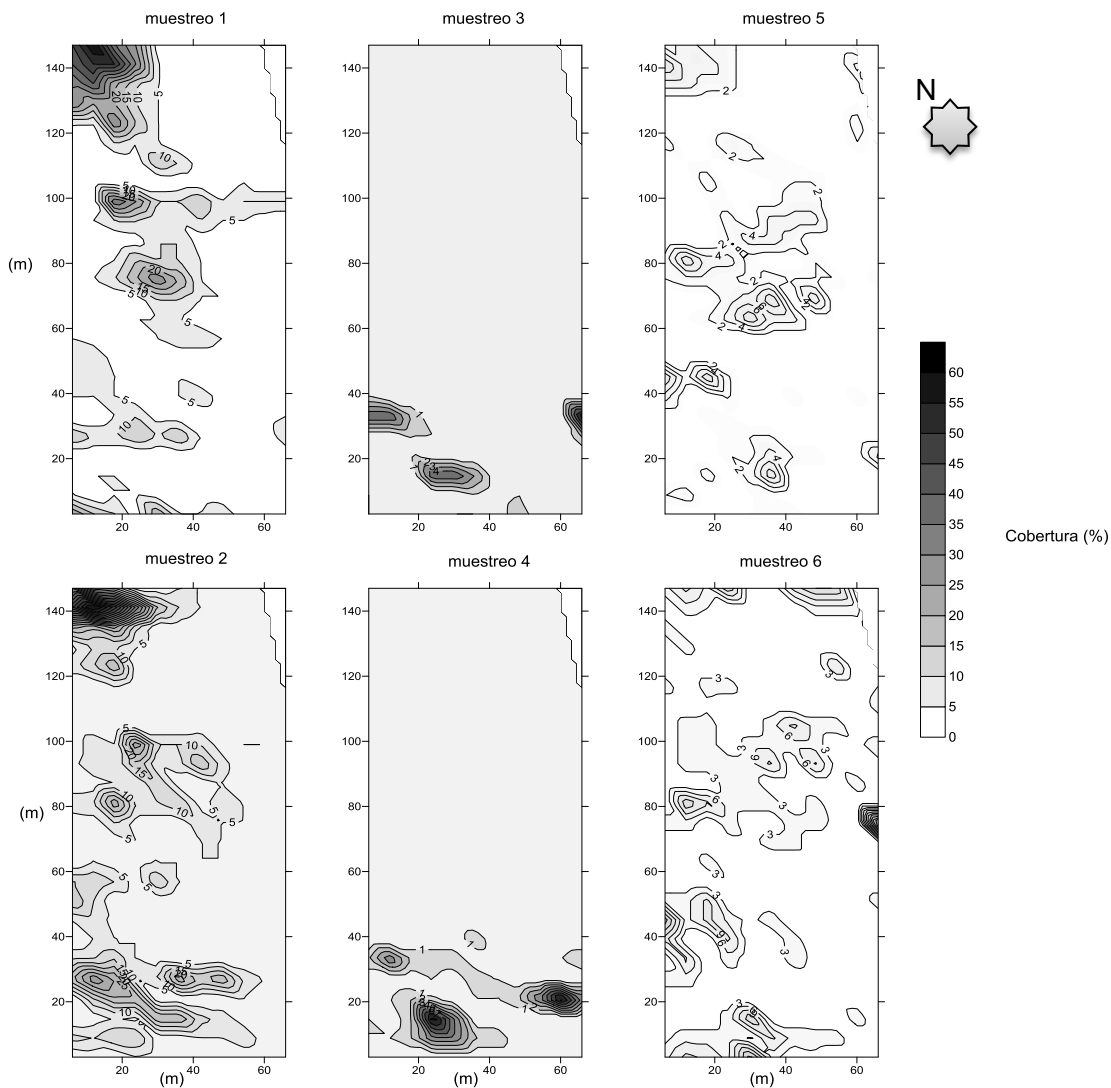


Figura 2-13: Distribución espacial de *F. limensis* durante los 6 muestreos



60 Dinámica espacial y temporal de poblaciones de malezas en cultivos de papa, espinaca y caña de azúcar y su relación con propiedades del suelo en dos localidades de Colombia

Figura 2-14: Distribución espacial de *A. hybridus* durante los 6 muestreos

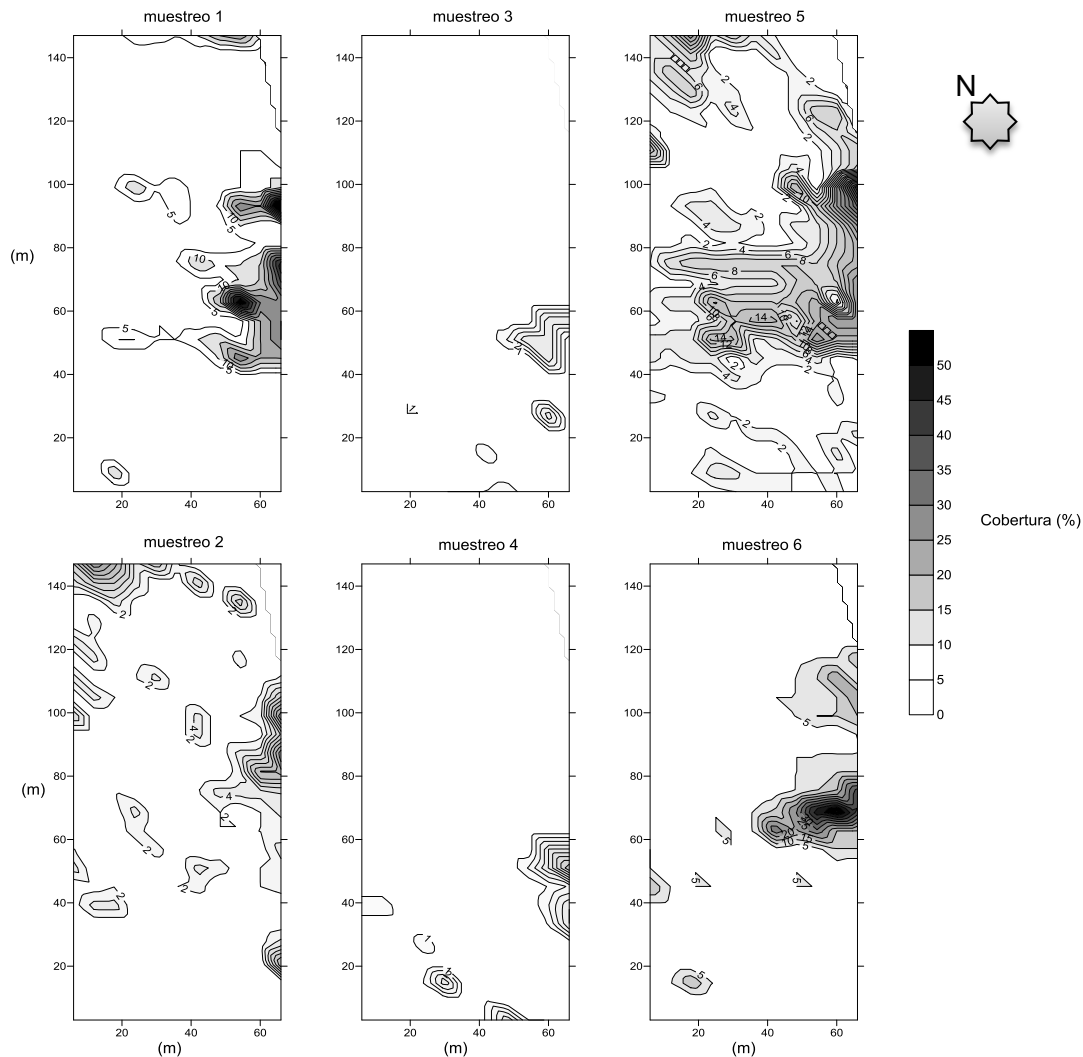


C. petiolare, (Figura 2-15) presentó un comportamiento similar a *F. limensis*, en tanto a prosperar en ambientes más húmedos pero no inundados, comparando 10-20 % en época seca, 0% en inundación y de 10 a 20% en época húmeda pero aumentando el área ocupada del lote del 25% al 50% (comparando muestreos 1 y 5). Aunque esta especie no se recupera bien de la desyerba, es decir, no se presentaron suficientes plantas de nuevas cohortes para recuperar el espacio dejado por la desyerba. La cobertura antes de la desyerba siempre fue superior a la cobertura antes de la cosecha. Esto se corrobora por la cobertura presentada entre los muestreos 1 y 2, la cual

2 Distribución espacial y dinámica temporal de algunas poblaciones de malezas en un cultivo de espinaca y en un cultivo de caña de azúcar 61

disminuye de 20% a 4% y entre los muestreos 5 y 6, la cual se mantiene pero el área cubierta del lote disminuye de 50% a 25%.

Figura 2-15: Distribución espacial de *C. petiolare* durante los 6 muestreos

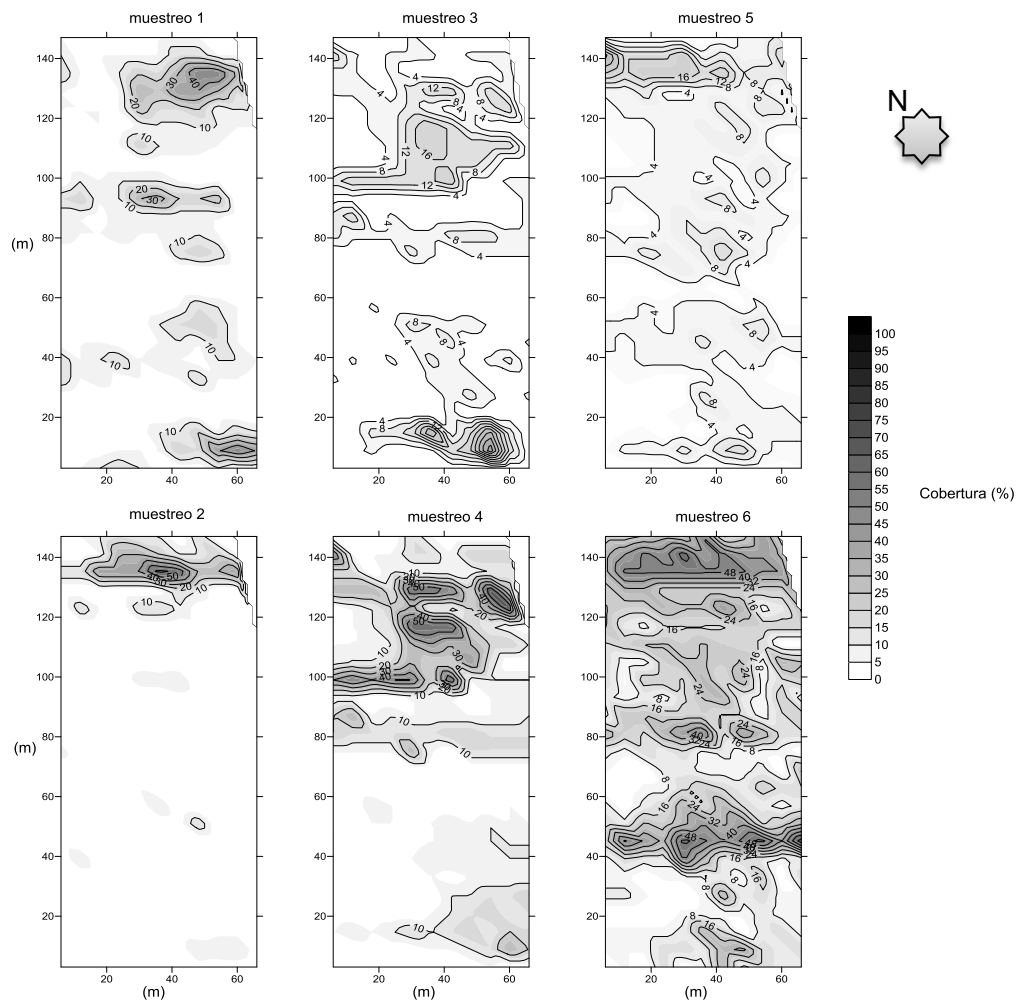


P. segetum (Figura 2-16) necesita de ambientes húmedos para prosperar y ser competitiva. Se puede observar la desaparición de los parches del centro y sur del lote entre los muestreos 1 y 2, los cuales transcurrieron en época seca y solo se conserva el parche del lado norte del lote, en donde se presenta una depresión, en la cual se conserva la humedad (Figura 2-11). Comparando los ciclos 1 y 2, se observa un aumento

62 Dinámica espacial y temporal de poblaciones de malezas en cultivos de papa, espinaca y caña de azúcar y su relación con propiedades del suelo en dos localidades de Colombia

importante de la cobertura de la especie en casi todo el lote, lo cual es más evidente entre los muestreos 2 y 3, la cual aumenta de 12 a 40% en el centro del parche. Además esta especie se recupera muy bien de la desyerba, mientras las condiciones se mantengan húmedas; esto se observa en las diferencias entre el muestreo 5 y 6, en el cual aumenta de 4-16% a 24-48%. Aun así, la cobertura es más alta en los lugares más bajos del lote, incluso en época húmeda, lo que indica que aunque esta especie se encuentra en todo el lote, es más competitiva vs las otras especies en lugares con alta humedad.

Figura 2-16: Distribución espacial de *P. segetum* durante los 6 muestreos

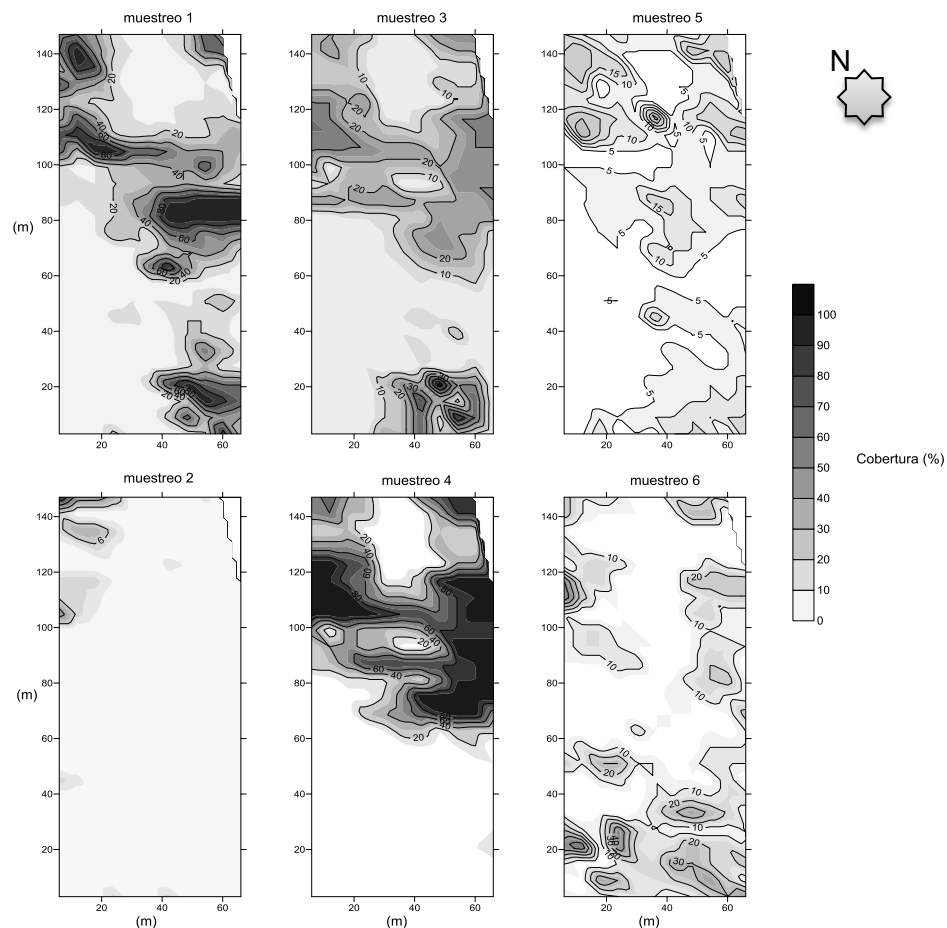


2 Distribución espacial y dinámica temporal de algunas poblaciones de malezas en un cultivo de espinaca y en un cultivo de caña de azúcar

El análisis de *R. raphanistrum* (Figura 2-17) es más complejo, porque su distribución espacial y su dinámica temporal depende no solo de la humedad, sino de la competencia con las otras especies.

Entre los muestreos 1 y 2, se observa que esta especie no se recupera bien de la desyerba en época seca, ya que no se encontró en el muestreo de todo el lote. Tampoco se recupera bien en época semihumeda como se observa en el parche sur entre los muestreos 3 y 4, en el cual tampoco se registró. Sin embargo, con alta humedad es muy competitiva ya que ocupa todo el espacio en el lado norte del lote. Comparando los mapas entre *P. segetum* y *R. raphanistrum*, se puede notar que cada uno es el negativo del otro, es decir donde es alta la cobertura de una especie es baja la de la otra y viceversa. La presencia de los parches de *P. segetum* dentro de *R. raphanistrum* (coordenadas x,y: 38,130) se debe a condiciones de suelo que se estudiarán más adelante.

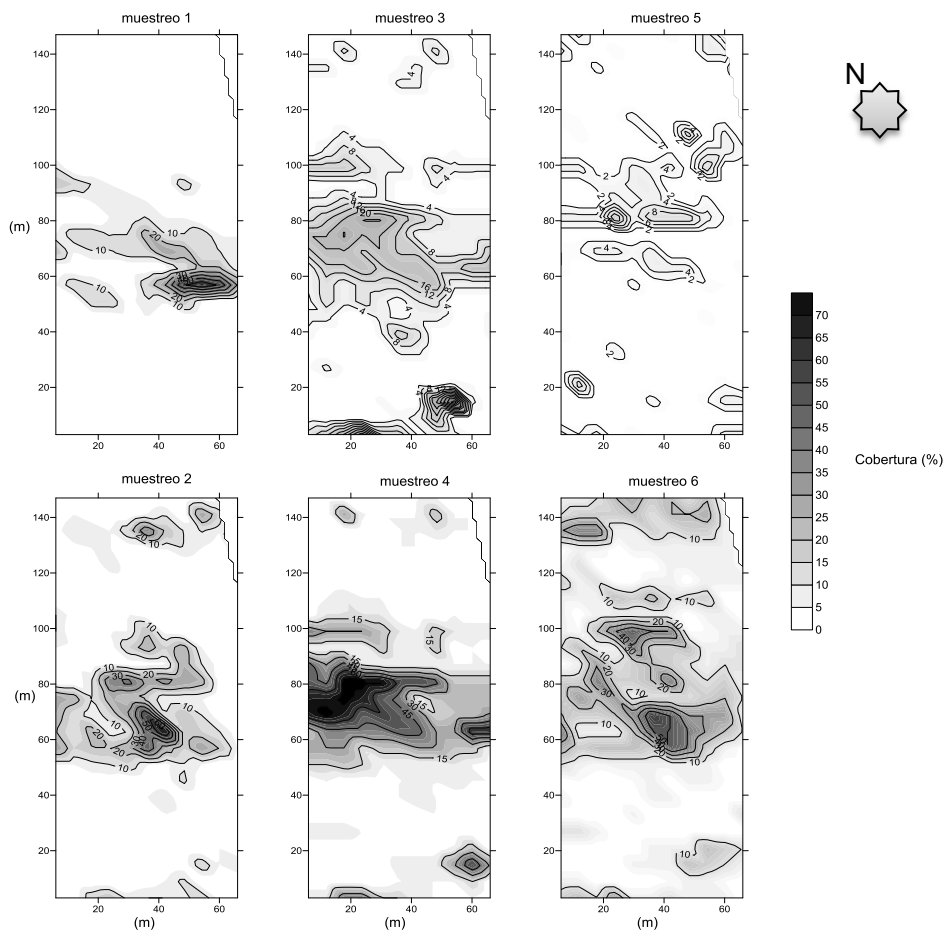
Figura 2-17: Distribución espacial de *R. raphanistrum* durante los 6 muestreos



64 Dinámica espacial y temporal de poblaciones de malezas en cultivos de papa, espinaca y caña de azúcar y su relación con propiedades del suelo en dos localidades de Colombia

R. crispus (Figura 2-18) se recupera rápidamente de una desyerba. Esto se observa en los tres ciclos de cultivo, entre los muestreos 1 y 2, 3 y 4 y los muestreos 5 y 6, en los cuales la cobertura en el centro del parche aumento de 20 a 60%, de 20 a 60% y de 8 a 30%, respectivamente. Aunque esta especie no es tan competitiva en época seca o moderada, en época húmeda se apropia rápidamente de los espacios dejados por especies sensibles a la alta humedad como *F. limensis* la cual no fue registrada en el segundo ciclo (coordenadas x,y: 15m, 70m), sin embargo en condiciones no tan húmedas (tercer ciclo) *F. limensis* recupera el espacio y *R. crispus* retrocede de nuevo al centro del lote.

Figura 2-18: Distribución espacial de *R. crispus* durante los 6 muestreos



La dinámica de las poblaciones también está influenciada por la competencia que se ejerce entre las especies, esto fue muy evidente entre *P. segetum* y *R. raphanistrum* que comparten muchas de sus condiciones de nicho, las cuales dependiendo de la humedad ocupaban el espacio dejado por la otra y viceversa. Y de la misma forma entre *F. limensis* y *R. crispus*.

2.6 Conclusiones

En el cultivo de espinaca los parches encontrados fueron pequeños, con límites bien definidos y de mayor cobertura, es decir más agregados. En cambio en el cultivo de caña las poblaciones tendieron a ser más homogéneas, los parches más grandes y de coberturas más bajas, es decir menos agregados. La agregación de las malezas esta influenciada por el sistema productivo en el cual se desarrollan o por la homogeneidad de los suelos, esto último se estudiará en el siguiente capítulo

Es posible obtener la posición de los parches de las malezas cuando estas presentan la suficiente cobertura que permita hacer mapas (>3%). Esto es de vital importancia en la planeación de labores de control mediante agricultura de precisión. Además, de acuerdo con los parámetros de la investigación, cualquier método de interpolación de datos resulta efectivo, cuando el objetivo es obtener la posición de los parches, ya sea para seguimiento ecológico o para labores de manejo de malezas por parches.

El análisis visual de los mapas de distribución espacial a través del tiempo, demostró que los parches de las malezas son estables a través del tiempo. Si bien son afectados por las condiciones de humedad, vuelven a un equilibrio de forma relativamente rápida. Se puede asegurar que la mayoría de las especies tienen propágulos en casi todo el lote, de acuerdo a los resultados de cobertura, pero diferencias en las condiciones del suelo o de humedad hacen que prospere una u otra especie en un lugar determinado.

Es decir, si las condiciones climáticas de un lote cambian de un ciclo a otro y luego vuelven a ser como antes, las poblaciones de malezas no cambian en su composición florística, sino en su abundancia y en el lugar en donde son más competitivas y luego

66 Dinámica espacial y temporal de poblaciones de malezas en cultivos de papa, espinaca y caña de azúcar y su relación con propiedades del suelo en dos localidades de Colombia

vuelven a su estado original. Esto fue claramente observado entre *F. limensis* y *R. crispus*, las cuales se encontraban en el centro del lote, sin embargo, la humedad aumentó y *R. crispus* ocupó el espacio dejado por *F. limensis*, luego las condiciones meteorológicas volvieron a cambiar a su estado inicial y *F. limensis* dominó en el lugar que se había presentado antes del cambio y *R. crispus* volvió al estado al que se encontraba inicialmente. Para que exista un cambio en las especies presentes, se necesita que el cambio de esas condiciones sea permanente.

La distribución de la variable cobertura de malezas fue binomial negativa o poisson, con muchos datos con “cero”, seguido de numerosos valores de cobertura baja y pocos datos de cobertura alta. Lo que comprueba la distribución agregada de las poblaciones. Esto trae como consecuencia que un valor determinado de abundancia general para todo un lote carece de representatividad y sirve más desde el punto comparativo entre especies.

3. Relación entre la presencia y abundancia de diferentes especies de malezas con algunas propiedades químicas del suelo

3.1 Introducción

Las poblaciones de malezas aparecen de forma agregada en parches, esto ha sido reportado en numerosas ocasiones (Gonzalez-Andujar & Saavedra, 2003; Heijting *et al.*, 2007; Jurado-Exposito *et al.*, 2004; Marshall, 1988; Rew & Cousens, 2001). Los parches de malezas están definidos como las poblaciones que son estables y aparecen en el mismo lugar y con densidad similar (Jurado-Exposito *et al.*, 2004), pero ¿Qué hace que aparezcan las malezas en ese mismo lugar ciclo tras ciclo?. Algunos estudios han demostrado que algunas malezas prosperan bajo ciertas condiciones de suelo (Walter *et al.*, 2002). Esto implica que el suelo no solo permite a un grupo de especies crecer, sino que las especies que mejor se adaptan a ciertas condiciones van a dominar determinado ambiente (Booth *et al.*, 2003), así éste sea una pequeña parte de un lote con unas condiciones en particular. Es sabido que el suelo presenta diferencias o gradientes en características físicas o químicas, ya que esta es la base de la agricultura de precisión en nutrición vegetal (Walter *et al.*, 2002). Sin embargo, ¿estas variaciones serían una de las razones por las cuales existan parches de diferentes especies de malezas en diferentes lugares de un mismo lote? Esta hipótesis implicaría que las malezas puedan utilizarse como indicadores de condiciones del suelo y también que ciertas características del suelo puedan ser usadas como los lugares o potenciales lugares en donde una especie de maleza pueda prosperar (Dille *et al.*, 2002). El objetivo en este capítulo fue determinar la existencia de estas relaciones entre malezas y propiedades del suelo.

3.2 Metodología

En un cultivo de espinaca de 1,16 ha, en el Centro Agropecuario Marengo (Mosquera, Cundinamarca, Colombia), se realizó un muestreo en forma de red rígida de 6 m * 6 m para un total de 269 puntos evaluados, en cada uno de los cuales se registró: la cobertura (%) de las malezas por especie en un área de 4 m², y un muestreo de suelo en los primeros 15 cm de profundidad. Además, en cada punto se realizó una medición de nivelación topográfica.

Con los valores de cobertura de las malezas se construyeron mapas de distribución espacial por medio de interpolación lineal. A su vez, para cada muestra de suelo fue evaluado el pH y la CE (conductividad eléctrica) en pasta de saturación 5:1 (Shirokova *et al.*, 2000) y posteriormente se construyeron mapas por medio de interpolación lineal tanto para el pH como para la CE, acompañado de un mapa topográfico.

De acuerdo a la localización de los parches de las diferentes especies de malezas vistos en los mapas de distribución espacial, que se presentaron en los capítulos anteriores, se seleccionaron ocho puntos en el lote que correspondían al centro del parche de cada especie encontrada. En estos ocho puntos se tomaron muestras de suelo para posterior análisis fisicoquímico (textura, elementos mayores, menores, Capacidad de Intercambio Catiónico, Carbono Orgánico), con el fin de encontrar relaciones entre los parches de malezas y las características del suelo. Una vez obtenida la información se procesó con el paquete agricolae del software R, seleccionando el método de Pearson. Esto da como resultado dos matrices, la primera de correlación, en la cual se realiza la correlación entre cada una de las especies de malezas con cada uno de los parámetros del suelo y la segunda del nivel de significancia.

3.3 Resultados

Las especies de malezas encontradas se observan en la Tabla 3-1, para cada una de estas se construyeron los diferentes mapas de distribución espacial

Tabla 3-1: Especies encontradas en el muestreo en el cultivo de espinaca

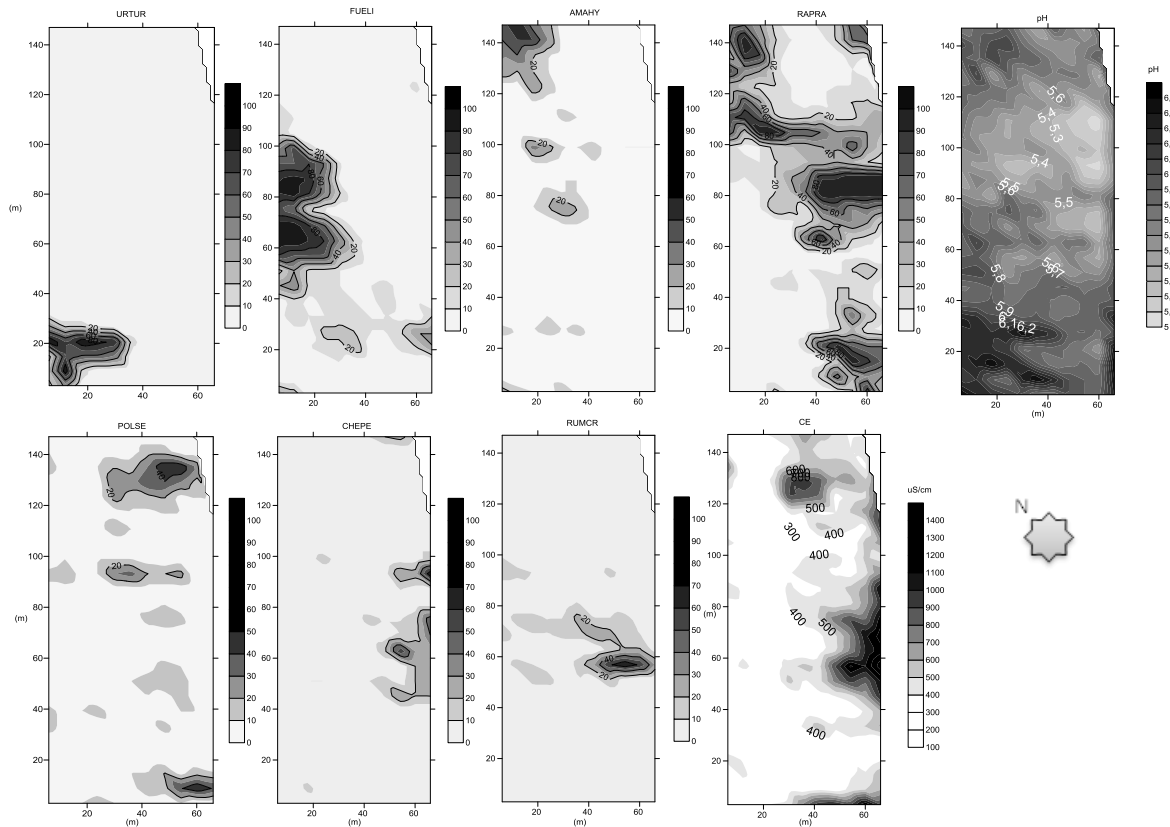
Nombre científico	Código	Nombre científico	Código
<i>Urtica urens</i> L.	URTUR	<i>Polygonum segetum</i> Kunth..	POLSE
<i>Fuertesimalva limensis</i> (L.) Fryxell	FUELI	<i>Chenopodium petiolare</i> L	CHEPE
<i>Amaranthus hybridus</i> L.	AMAHY	<i>Rumex crispus</i> L.	RUMCR
<i>Raphanus raphanistrum</i> L.	RAPRA		

Las malezas se distribuyen en forma de parches, la forma, abundancia y lugar en el cual aparecen, en este caso están bien definidos (Figura 3-1). En el capítulo anterior se mostró que durante tres ciclos de cultivo los parches aparecieron en los mismos lugares y con forma similar, variando la abundancia y esto último se relacionó con la humedad.

De forma descriptiva en el Figura 3-1 vemos: el parche de *U. urens* en la esquina sur-este del lote, o en la inferior izquierda del mapa, en este lugar se tomó la primera muestra de suelo de la segunda serie.; el parche de *F. limensis* se observa en el centro del lado oeste del lote (lado izquierdo del mapa), en este lugar se tomó la segunda muestra de suelo; en la esquina superior izquierda se encuentra el parche más significativo de *A. hybridus* en la que se tomó la tercera muestra; en la parte norte del lote y cerca al centro – superior del mapa se encontró el parche de *P. segetum*, en este punto se registró la cuarta muestra; en el centro del lote y hacia el oriente se observa el parche más grande de *R. raphanistrum* en la cual se tomó la quinta y sexta muestra, las cuales fueron mezcladas; en el lado oriental o derecho en el mapa se encontró el parche de *C. petiolare* y en este se tomó la séptima muestra; en el centro del lote se tomó la octava muestra, aunque en esta parte no dominaba ninguna especie en particular y en la esquina inferior derecha del lote se tomaron las muestras 9 y 10, en el segundo parche de *R. raphanistrum*, con el fin de caracterizar todo el lote. Se analizaron un total de 8 muestras cuyos resultados se observan en la Tabla 3-2.

70 Dinámica espacial y temporal de poblaciones de malezas en cultivos de papa, espinaca y caña de azúcar y su relación con propiedades del suelo en dos localidades de Colombia

Figura 3-1: Mapas de distribución espacial de la cobertura (%) de las diferentes especies de malezas, pH y CE.



Las malezas presentaron dependencia espacial, al igual que las variables de suelos evaluadas (Figura 3-1). Sin embargo, no se esperaba que presentaran rangos amplios.

En el caso de pH el rango fue de 4.8 hasta 6,5 y en el caso de la CE el rango fue de 150 a 1400 uS/cm, en donde este lote se considera salino a partir de 500 uS/cm. Desde el punto de vista topográfico hubo diferencias en la nivelación de hasta 50 cm desde el lugar más bajo al lugar más alto (Figura 3-2).

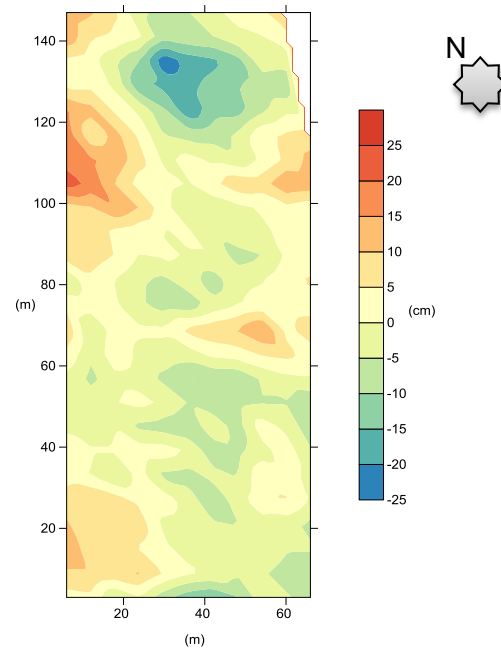
3 Relación entre la presencia y abundancia de diferentes especies de malezas con algunas propiedades químicas del suelo 71

Tabla 3-2: Resultados del análisis de suelos de la segunda serie de muestras

Parámetro	Punto de evaluación							
	1	2	3	4	5 y 6	7	8	9 y 10
pH	6	5,8	5,6	5,3	5,3	5,2	5,5	5,9
co	4,02	4,2	3,78	2,82	3,81	4,81	4,22	3,82
N	0,35	0,36	0,33	0,24	0,33	0,41	0,36	0,33
Ca	16,4	13,2	11,1	8,68	9,88	9,23	11,6	12
K	1,66	1,59	0,85	0,69	0,8	0,98	1,3	1,23
Mg	3,05	2,82	2,54	2,79	2,88	3,14	2,81	3,12
Na	0,35	0,27	0,61	9,1	5,1	7	0,86	0,86
Al	0	0	0	0,29	0,27	0,35	0	0
CICE	21,4	17,8	15,1	21,6	18,9	20,7	16,6	17,2
CIC	27,7	26,7	25,1	23,8	25,3	29,3	30,4	29,1
P	116	116	109	65,4	92,2	90,5	116	109
Cu	2	2,68	2,18	1,28	1,44	1,08	1,64	1,94
Fe	250	358	436	390	418	233	393	392
Mn	4,82	4,74	6,74	1,64	2,52	5,58	6,48	4,86
Zn	50,4	24,6	0,02	36,8	37,8	39	25	31,8
B	0,7	0,45	0,49	0,27	0,49	0,32	0,5	0,37
Ar	22	18	14	18	16	14	20	14
L	47	43	45	43	39	39	45	43
A	31	39	41	39	45	47	35	43

72 Dinámica espacial y temporal de poblaciones de malezas en cultivos de papa, espinaca y caña de azúcar y su relación con propiedades del suelo en dos localidades de Colombia

Figura 3-2: Nivelación topográfica del lote



Se encontró relación entre algunas malezas con propiedades del suelo: el parche de *U. urens* es de la misma forma y tamaño que el área en donde el pH es superior a 6. En el caso de *P. segetum* y *C. petiolare*, se presentaron en donde la CE es alta (>500 uS/cm), mostrando tolerancia a suelos salinos, y *P. segetum*, a su vez estuvo relacionada a los lugares en donde se concentraba la humedad del lote, es decir en los lugares más bajos. También se encontró relación entre la topografía y los lugares más salinos del lote, en donde se encuentra que la CE es más alta en los lugares más bajos del lote. Esto debido al movimiento del catión Na como principal responsable de la CE en este lote, en el agua de drenaje a los lugares más bajos

3 Relación entre la presencia y abundancia de diferentes especies de malezas con algunas propiedades químicas del suelo 73

Tabla 3-3: Matriz de correlación entre las especies de malezas encontradas en el lote y diversos parámetros químicos del suelo

Variable	Especie							RANGO
	URTUR	FUELI	AMAHY	CHEPE	RUMCR	POLSE	RAPRA	
co (%)	0,09	0,23	-0,05	0,23	0,19	<u>-0,67*</u>	-0,06	2,82-4,81
N (%)	0,12	0,22	-0,01	0,19	0,17	<u>-0,70**</u>	-0,03	0,24-0,41
Ca (meq 100g ⁻¹)	0,84**	0,37	0,17	<u>-0,60</u>	-0,02	-0,57	-0,14	8,68-16,4
K (meq 100g ⁻¹)	0,65*	0,58*	-0,08	-0,43	0,15	<u>-0,59</u>	-0,27	0,69-1,66
Mg (meq 100g ⁻¹)	0,30	-0,23	<u>-0,69*</u>	0,30	-0,12	-0,18	-0,26	2,54-3,14
Na (meq 100g ⁻¹)	-0,35	-0,44	-0,48	0,74**	-0,26	0,79***	-0,29	0,27-9,1
Al (meq 100g ⁻¹)	-0,33	-0,42	-0,49	0,75**	-0,27	0,57	-0,21	0-0,35
CIC (meq 100g ⁻¹)	0,08	-0,02	-0,28	0,09	0,54	-0,55	0,03	15,1-21,6
P (mgkg ⁻¹)	0,36	0,44	0,36	<u>-0,60</u>	0,33	<u>-0,88***</u>	0,24	23,8-30,4
Cu (mgkg ⁻¹)	0,26	0,76**	0,51	<u>-0,70*</u>	-0,10	-0,49	0,02	65,4-116
Fe (mgkg ⁻¹)	-0,59	0,01	0,35	-0,52	0,30	0,05	0,70**	1,08-2,68
Mn (mgkg ⁻¹)	0,04	0,14	0,55	-0,05	0,31	-0,59	0,12	233-436
Zn (mgkg ⁻¹)	0,52	-0,23	<u>-0,81**</u>	0,21	-0,12	0,12	-0,37	1,64-6,74
B (mgkg ⁻¹)	0,77**	0,13	0,29	<u>-0,62*</u>	0,15	<u>-0,64*</u>	0,19	0,02-50,4

Nivel de significancia: *:0,1; **: 0,05; ***: 0.01

Las variables planimetría, pH y CE explican la posición de las especies ya mencionadas en el lote. Sin embargo, otras variables pueden influir sobre el desarrollo de las demás especies de malezas. Se encontraron amplias diferencias de diversos elementos en las ocho muestras mencionadas anteriormente, lo cual explica de cierta forma las variaciones de las especies de malezas. En la Tabla 3-3, se muestra la relación entre algunos parámetros químicos evaluados en el centro del parche de cada una de las malezas. Se observa en negrita las correlaciones positivas y subrayadas las correlaciones negativas más significativas entre las malezas y el suelo.

Además del pH se encontró que *U. urens* se encuentra relacionada con altos contenidos de Ca, K y B en el lote, y Zn y Cu con relación positiva pero sin significancia de correlación, estando limitada a un pH superior a 6, concuerda con el estudio de Holter (1979).

74 Dinámica espacial y temporal de poblaciones de malezas en cultivos de papa, espinaca y caña de azúcar y su relación con propiedades del suelo en dos localidades de Colombia

Para las demás especies no se contó con estudios previos de la relación de estas especies con los suelos; sin embargo, *F. limensis* estuvo relacionada con altos contenidos de K y Cu. *A. hybridus* con bajos contenidos de Mg y Zn. *C. petiolare* con altos contenidos de Na y Al, esto relacionado con la salinidad expresada en la CE y bajos contenidos de Cu. *R. crispus* no estuvo relacionado con algún elemento, solo parcialmente con una alta CIC. *P. segetum* con altos contenidos de Na, también relacionado a los lugares más salinos, húmedos y bajos del lote y bajos contenidos de N y K. Por último *R. raphanistrum* estuvo relacionado con altos contenidos de Fe.

Se debe recordar que estos valores de correlación, son relativos a los encontrados en este lote, por lo tanto se incluyó en la Tabla 3-3 el rango entre los cuales se encontraron los diversos parámetros y en la Tabla 3-2 el resultado del análisis de suelo de los ocho puntos muestreados.

3.4 Conclusiones

Todos los parámetros químicos y la topografía fueron muy variables en el lote, en donde se esperaba un lote más homogéneo. Esto explica la variación de la comunidad de malezas a lo largo del lote, por qué cada maleza es dominante en cada parche siendo altamente competitiva de acuerdo a las condiciones de suelos presentes y por qué las malezas no están presentes en todo el lote. Por ejemplo, los casos de: *U. urens* que solo se registró en lugares con pH superior a 6; *C. petiolare* que se encuentra en lugares con alta CE (>400 uS/cm en pasta de saturación 1:5); el parche de *F. limensis* se encontró solo en el lugar con mayor cantidad de Cu (2.68 mg.Kg⁻¹). Estos resultados muestran la posibilidad real de usar plantas malezas como indicadores de las condiciones de suelo.

Por esta dependencia entre las malezas y algunas propiedades del suelo encontrar un lote con heterogeneidad de malezas, implica encontrar un lote con heterogeneidad de algunas propiedades del suelo. Y viceversa: un análisis de suelo puede revelar que especies de maleza pueden presentarse y ser competitivas en un lote conocido, dando la posibilidad de planear labores de manejo específicas para cada maleza en cada lugar del lote, si se cuenta con la información detallada.

4. Conclusiones generales y Recomendaciones

4.1 Conclusiones

Escoger una metodología de muestreo para el estudio de poblaciones de malezas debe partir de dos preguntas tan simples como importantes: ¿Qué se quiere conocer?, ¿Para qué se va a usar esa información? La primera va a responder al tipo de información a conseguir: riqueza o abundancia. La segunda responde al objetivo mismo del muestreo: biodiversidad, evaluación de malezas para planes de manejo o estudios de biología o ecología. Respondiendo estas dos preguntas se puede diseñar y escoger una metodología de muestreo acorde a las necesidades de información y a los recursos con los que se cuenta.

La metodología que se observó más confiable al realizar líneas base de información de malezas fue: medir la cobertura (%), ya que es la variable que mejor representa la abundancia de malezas, no es afectada por el estado fenológico de las malezas y que además, puede adaptarse a las diversas circunstancias de las comunidades, con la condición que el evaluador este previamente capacitado y ser el mismo en todas las evaluaciones. Esta variable permite usar cuadros de 4 m² los cuales registran más área que cuadros más pequeños sin perder de vista las especies poco abundantes, lo cual ocurre con cuadros más grandes. Y deben estar dispuestos en forma uniforme (red rígida), ya que esta distribución permite obtener información de todo el lote, encontrar los

76 Dinámica espacial y temporal de poblaciones de malezas en cultivos de papa, espinaca y caña de azúcar y su relación con propiedades del suelo en dos localidades de Colombia

parches de malezas, realizar seguimiento y encontrar las relaciones con su entorno. Esto es válido mientras el sistema productivo lo permita, es decir, plantas de cultivo que solo permitan tamaños de cuadro pequeños (como el cultivo de café) obligará a reducir el tamaño de cuadro.

En cuanto a la dinámica poblacional de las malezas, fue ampliamente demostrada la distribución en parches de las malezas, los cuales fueron estables a través del tiempo, aunque son influenciados por la humedad.

La razón de esto son las relaciones que tienen las malezas con características del suelo, en donde se encontró que la comunidad de malezas es sensible a las variaciones en pH, CE, y algunos elementos del suelo como algunos nutrientes o CIC. En donde cada población es competitiva y dominante en los lugares del lote que reúnen condiciones particulares. Lotes que presentan heterogeneidad en las poblaciones de malezas, seguramente tienen características del suelo heterogéneas. Lo anterior permitiría usar a las malezas como plantas indicadoras de las condiciones de suelo.

4.2 Recomendaciones

Se hace necesario evaluar otros sistemas productivos en otras localidades con el fin de aportar metodológicamente al entendimiento de las comunidades de malezas en dichos sistemas.

Es importante evaluar otras metodologías de muestreo, otras variables como biomasa, otras distribuciones como muestreos sesgados o por bloques, con el fin de conocer la sensibilidad y precisión de dichas alternativas en comparación con las acá presentadas en diversos objetivos de muestreo.

Se requiere y se recomienda profundizar en el aspecto geoestadístico de las poblaciones de malezas, ya que esto conlleva a metodologías de muestreo más precisas y técnicamente más viables; a interpolación y creación de mapas con mayor precisión.

Se recomienda realizar estudios en la distribución espacial de las propiedades del suelo para encontrar relaciones suelo-maleza que permitan un diagnóstico y un manejo tanto de la nutrición, como de las poblaciones de malezas, más eficiente y sistémico.

5. Anexo: Pruebas Tukey para las variables número de especies y Detener el muestreo en el cuadro No.

Mean Square Error: 0,58				
alpha: 0.05 ; Df Error: 18				
Critical Value of Studentized Range: 2.971152				
Variable: No. De especies				
Method	Mean	Group	Replication	Std. Desv.
Aleatorio	7,2	a	10	0,2
Al azar "Lanzando el cuadro"	5,9	b	10	0,2768875
Honestly Significant Difference: 0,717601				

Mean Square Error: 3.066667				
alpha: 0.05 ; Df Error: 18				
Critical Value of Studentized Range: 2.452336				
Variable: Detener el muestreo en el cuadro No.				
Method	Mean	Group	Replications	Std. Desv.
Aleatorio	6,2	a	10	0,7118052
Al azar "Lanzando el cuadro"	4,8	b	10	0,3265986
Honestly Significant Difference: 1,35804				

78 Dinámica espacial y temporal de poblaciones de malezas y su relación con propiedades químicas del suelo, en dos localidades de Colombia

6. Bibliografía

- Amador, M., & Escobedo, J. S. (2004). Distribuciones espaciales de malezas y rendimiento de maíz en labranza reducida y convencional. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 27(3), 223–231.
- Ambrosio, L., Iglesias, L., Marin, C., & Del Monte, J. P. (2004). Evaluation of sampling methods and assessment of the sample size to estimate the weed seedbank in soil, taking into account spatial variability. *Weed Research*, 44(3), 224–236. doi:10.1111/j.1365-3180.2004.00394.x
- Arrieta, J. M., Copete, C., & Sánchez, C. (2006). estudio geoestadístico de la dinamica de poblaciones de *Spermacoce tenuior* L. y *Digitaria longiflora* (Retz.) Pers., arvenses del sistema rotacional maíz-soya de la altillanura colombiana. *Revista Corpoica - Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 7(2), 80–88.
- Barroso, J., Ruiz, D., Fernandez-Quintanilla, C., Leguizamon, E. S., Hernaiz, P., Ribeiro, a, Diaz, B. (2005). Comparison of sampling methodologies for site-specific management of *Avena sterilis*. *Weed Research*, 45(3), 165–174. doi:10.1111/j.1365-3180.2005.00451.x
- Bohorquez, M. (2010). Conv. pers. Docente Curso Geoestadística. Universidad Nacional de Colombia.
- Booth, B., Murphy, S., & Swanton, C. (2003). *Weed Ecology in natural and agricultural systems* (p. 303). UK: CAB International.
- Braun-Blanquet, J. (1979). *Fitosociología. Bases para el estudio de las comunidades vegetales*. (J. Lalucat, Ed.) (Versión Tr., p. 819). Madrid: H. Blume Ediciones.

80 Dinámica espacial y temporal de poblaciones de malezas en cultivos de papa, espinaca y caña de azúcar y su relación con propiedades del suelo en dos localidades de Colombia

- Caamal, J. (2004). Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales. In F. Bautista, H. Delfin, J. Palacio, & M. Delgado (Eds.), (1st ed., p. 509). Mexico D.F.: UNAM.
- Clay, S., & Dakota, S. (2002). Scouting for Weeds. *Precision Agriculture*, (November). doi:10.1094/CM-2002-1206-01-MA.Introduction
- Colbach, N., Dessaint, F., & Forcella, F. (2000). Evaluating field-scale sampling methods for the estimation of mean plant densities of weeds. *Weed Research*, 40(5), 411–430. doi:10.1046/j.1365-3180.2000.00203.x
- Conklin, A. R. (2004). *FIELD SAMPLING. Principles and practices in environmental analysis. Microbiology* (p. 347). NY, USA: Marcel Dekke, INC.
- Cottam, G., Curtis, J., & Catana, A. (1957). Some Sampling Characteristics of a Series of Aggregated Populations. *Ecology*, 38(4), 610–622.
- Cousens, R., & Mortimer, M. (1995). *Dynamics of weed populations* (p. 321). Cambridge University Press.
- DANE. (2001). *Censo Nacional de Papa* (p. 44). Retrieved from http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/ena/papa_censo_cundina_marca.pdf
- Dille, J. A., Mortensen, D. A., & Young, L. J. (2002). Predicting Weed Species Occurrence Based on Site Properties and Previous Years Weed Presence. *Precision Agriculture*, 3, 193–207.
- FAO. (1997). *Consulta de Expertos en Ecología y Manejo de Malezas* (p. 60). ROMA: FAO.
- Feyaerts, F. (2001). Multi-spectral vision system for weed detection. *Pattern Recognition Letters*, 22(6-7), 667–674. doi:10.1016/S0167-8655(01)00006-X
- Fuentes, C. L. (1986). Metodología y técnicas para evaluar las poblaciones de malezas y su efecto en los cultivos. *Revista COMALFI*, 13, 29–50.
- Gold, H., & Wilkerson, G. (1996). No Titlescouting weeds, based on the negative binomial distribution. *Weed Science*, 44, 504–510.
- Gonzalez-Andujar, J., & Saavedra, M. (2003). Spatial distribution of annual grass weed populations in winter cereals. *Crop Protection*, 22(4), 629–633. doi:10.1016/S0261-2194(02)00247-8
- González-Andújar, J. L., Martínez-Cob, A., López-Granados, F., & García-Torres, L. (2001). Spatial distribution and mapping of crenate broomrape infestations in

- continuous broad bean cropping. *Weed Science*, 49(6), 773–779. doi:10.1614/0043-1745(2001)049[0773:SDAMOC]2.0.CO;2
- Heijting, S., Van der Werf, W., Steinà, A., & Kropff, M. J. (2007). Are weed patches stable in location? Application of an explicitly two-dimensional methodology. *Weed Research*, 47, 381–395.
- Holter, V. (1979). Distribution of *Urtica dioica* L. in relation to edaphic factors. *Plant and Soil*, 52, 599–603.
- IDEAM. (2009). Fenómenos de “El Niño” y “La Niña” Boletín No 6. Retrieved from http://www.pronosticosyalertas.gov.co/jsp/boletin-informativo-sobre-el-monitoreo-de-los-fenomenos-de-el-nino-y-la-nina_894
- IDEAM. (2010). Fenómenos de “ El Niño ” y “ La Niña ” Boletín No 15. Retrieved from http://www.pronosticosyalertas.gov.co/jsp/boletin-informativo-sobre-el-monitoreo-de-los-fenomenos-de-el-nino-y-la-nina_894
- Jurado-Exposito, M., Lopez-Granados, F., González-Andújar, J. L., & García-Torres, L. (2004). Spatial and temporal analysis of *Convolvulus arvensis* L. populations over four growing seasons. *European Journal of Agronomy*, 21(3), 287–296. doi:10.1016/j.eja.2003.10.001
- Krohmann, P., Gerhards, R., & Kuhbauch, W. (2006). Spatial and Temporal Definition of Weed Patches Using Quantitative Image Analysis. *Journal of Agronomy & Crop Science*, 192, 72–78.
- Labrada, R., Caseley, J. C., & Parker, C. (1996). *Manejo de Malezas para Países en Desarrollo* (p. 317). ROMA.
- LaMastus, F. E., & Shaw, D. R. (2005). Comparison of Different Sampling Scales to Estimate Weed Populations in three Soybean Fields. *Precision Agriculture*, 6(3), 271–280. doi:10.1007/s11119-005-1386-8
- Leguizamón, E. S. (2005). El monitoreo de malezas en el campo. Rosario, ARG: Universidad Nacional de Rosario. Retrieved from <http://www.fcagr.unr.edu.ar/Extension/Agromensajes/17/1AM17.htm>
- Marshall, E. J. P. (1988). Field-scale estimates of grass weed populations in arable land. *Weed Research*, 28(3), 191–198.
- Matteucci, S. D., & Colma, A. (1982). *Metodología para el estudio de la vegetación* (p. 167). OEA: OEA.
- Mostacedo, B., & Fredericksen, T. (2000). *Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal* (p. 87). Santa Cruz de la Sierra.

82 Dinámica espacial y temporal de poblaciones de malezas en cultivos de papa, espinaca y caña de azúcar y su relación con propiedades del suelo en dos localidades de Colombia

- Okamoto, H., Murata, T., Kataoka, T., & Hata, S.-I. (2007). Plant classification for weed detection using hyperspectral imaging with wavelet analysis. *Weed Biology and Management*, 7(1), 31–37. doi:10.1111/j.1445-6664.2006.00234.x
- Ramirez, A. (1999). *Ecología aplicada: diseño y analisis estadístico*. (Universidad Jorge Tadeo Lozano, Ed.) (p. 325). Bogotá D.C.
- Rew, L. J., & Cousens, R. D. (2001a). Spatial distribution of weeds in arable crops: are current sampling and analytical methods appropriate? *Weed Research*, 41(1), 1–18. doi:10.1046/j.1365-3180.2001.00215.x
- Rew, L. J., & Cousens, R. D. (2001b, February). Spatial distribution of weeds in arable crops: are current sampling and analytical methods appropriate? *Weed Research*. doi:10.1046/j.1365-3180.2001.00215.x
- Rew, L. J., Whelan, B., & Mcbratney, a B. (2001). Does kriging predict weed distributions accurately enough for site-specific weed control? *Weed Research*, 41(3), 245–263. doi:10.1046/j.1365-3180.2001.00235.x
- Shirokova, Y., Forkutsa, I., & Sharafutdinova, N. (2000). Use of electrical conductivity instead of soluble salts for soil salinity monitoring in Central Asia. *Irrigation and Drainage Systems*, 14, 199–205.
- Sui, R., Thomasson, J., Hanks, J., & Wooten, J. (2008). Ground-based sensing system for weed mapping in cotton. *Computers and Electronics in Agriculture*, 60(1), 31–38. doi:10.1016/j.compag.2007.06.002
- Walter, a M., Christensen, S., & Simmelsgaard, S. E. (2002). Spatial correlation between weed species densities and soil properties. *Weed Research*, 42(1), 26–38. doi:10.1046/j.1365-3180.2002.00259.x
- Wiles, L. J. (2005). Sampling to make maps for site-specific weed management. *Weed Science*, 53, 228–235.