



MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
Universidad Agraria de la Habana
"Fructuoso Rodríguez Pérez"



INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, CUBA



**CONTRIBUCIÓN A LA SOSTENIBILIDAD
DE LA PRODUCCIÓN DE MAÍZ (*Zea mays* L.), EN HUAMBO,
ANGOLA, A TRAVÉS DEL MANEJO AGROECOLÓGICO
DE LAS ARVENSES**

Tesis en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Agrícolas

Ing. Dácia J. C. J. Vaz Pereira

Cuba/2015



MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR

Universidad Agraria de la Habana

“Fructuoso Rodríguez Pérez”

INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIAS AGRÍCOLAS



**CONTRIBUCIÓN A LA SOSTENIBILIDAD DE LA PRODUCCIÓN
DE MAÍZ (*Zea mays* L.), EN HUAMBO, ANGOLA A TRAVÉS
DEL MANEJO AGROECOLÓGICO DE LAS ARVENSES**

Tesis en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Agrícolas

Optante: Ing. Dácia J. C. J. Vaz Pereira

Tutor: Dr.C. Ángel Leyva Galán

CUBA/2015

*El planeta clama a gritos por cuidado y atención
si no ayudamos al cambio, vendrá la destrucción
La tierra espera paciente, el daño al medio ambiente no concederá perdón
Nuestra tierra nos brinda protección
Y le hemos pagado con contaminación.*

*Debemos tomar conciencia de que la tierra habla y nos grita
Las temperaturas suben, los polos se deshuelan, los árboles son talados
Ver destruido el ambiente es tan doloroso
Pues estamos matando lo más hermoso
Basta de hacer daños a la tierra,
Plantemos vida con sueños y esperanza a favor de la ecología.*

*Por un mundo mejor, utilicemos los recursos naturales, conscientes de que son
agotables, trabajemos por un aumento de la producción, sin olvidar que este
mundo será mejor, cuando todos apliquemos los principios agroecológicos.*

Dácia Vaz - Pereira

DEDICATORIA

DEDICATORIA

A mis padres y hermanos, artesanos de mis valores y personalidad

A mi esposo, por su amor, confianza y perseverancia

A mi hija Deodécia Fosineita Joaquim Vaz Pereira

A mi hijo Deodel Jekiney Joaquim Vaz Pereira

A mi hija Delciana Alzira Joaquim Vaz Pereira

A todos los que creen en un mundo mejor, donde se respetan los valores... y luchan para que la equidad de género sea una conquista diaria... que cuidan de la naturaleza como un bien propio, conscientes de que el mundo que tenemos debe servir para las generaciones venideras.

AGRADECIMIENTOS

AGRADECIMIENTOS

Las palabras que trazo en este papel, son de muy poca dimensión para expresar la tamaña gratitud que tengo a Dios, que frente a muchas dificultades presentadas hizo posible la terminación de mi carrera. A El entrego mi formación, ayudándome a servir a la humanidad en este mundo de la ciencia.

Agradezco por la vida, por la fuerza, por el coraje, por la salud que me ha regalado a mí, a mi hija, a mi familia angolana y cubana, por todas las maravillas operadas en mi vida y por derramar en mi tu espíritu santo y que gracias a eso fue posible vencer todos los obstáculos.

A mis padres Malheiro Joaquim y Alzira Nacutemba Joaquim, por darme la oportunidad de conocer este mundo y brindarme las bases académicas, sociales y formatear la persona que soy hoy, e inducirme en el mundo de la ciencia, gracias por vuestro amor...

A mi esposo Edgar Nazaré Vaz Pereira, por su comprensión, perseverancia y apoyo incondicional en todo lo necesario y que la distancia entre continentes no constituyó obstáculo para demostrar su confianza. Gracias por cuidar de nuestros hijos y hacer hasta lo imposible para educarlos y llenar el espacio vacío causado por mi ausencia.

Al Dr.C. Angel Leyva Galán, que más que Tutor fue un padre; gracias por enseñarme a caminar y manejar el mundo de la ciencia; por su atención, disponibilidad, apoyo, prisma científico... por los conocimientos aportados, por su amplia visión y ayudarme a comprender aún más el maravilloso campo científico... gracias por su paciencia y dedicación...

A él, adjunto a su esposa Nilda Romero Mesa y a su hija Evelyn Leyva Romero, que como madre y hermana, nos han brindado todo su amor, cariño y afecto... la palabra "gracias", es pequeña para expresar lo mucho que hicieron, Nilda fuiste la abuelita que Delciana jamás pensó tener. Gracias por brindarnos vuestro hogar familiar.

De manera muy especial agradezco a la señora Caridad Ortega Siero quien me ha ayudado incondicionalmente en el cuidado y la educación de mi hija Delciana tratándola con dulzura y mucho amor, tal cual fuera su propia nieta.

Al Dr.C. Alberto Pompa Núñez por su disponibilidad, por darme las herramientas básicas y fundamentales de la rama científica y por gestionar mi colegiatura en el INCA-Cuba.

Al Dr.C. Mario Varela por su contribución científica brindada en el procesamiento e interpretación de los datos, base para el análisis científico.

A la Dirección del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), a la Dirección de Desarrollo Técnico, por todo el apoyo brindado durante mi estancia. Al Departamento de Ediciones, en especial a mi amiga incondicional Yamila Isabel Díaz Bravo y su esposo José Luis Camacho García (Alí), gracias por hacerme saber qué es una verdadera amistad; a Omisailén González Camacho, por su ayuda en todo lo solicitado.

A los integrantes del Departamento de Fitotecnia: técnicos, investigadores y especialistas, por acogerme todos estos años y hacerme sentir como una funcionaria más, por su contribución a mi formación profesional.

Al colectivo de trabajadores del INCA, investigadores, especialistas, técnicos, obreros de campo, trabajadores de servicio, que hicieron mi estancia harmonica.

Al Departamento de Biomatemática del Instituto de Ciencia Animal (ICA), en especial a la Dra.C. Verena Torres, Dra.C. Magaly, Luzía y Yoly, por su ayuda en el procesamiento estadístico de los datos.

A Dirección del Instituto de Investigación Agronómica de Angola en especial al Dr.C. Domingos Mpanzo, Dra.C. María de Fátima do Nascimento, que como funcionaria del centro me fue dada la oportunidad de seguir mi formación en el exterior del país y desarrollar una temática importante para los productores de Huambo, Angola.

A las administraciones municipales de Huambo, Longonjo, Kuima, Londuibale, Chicala Choloanga, Cachiungo y Ekunha, por intermediar el contacto con los productores.

A mis compañeros angolanos, Dr.C. Madureira Chivangulula, Ing. André Ndjamba, Dr.C. Juca Sachipia, por su apoyo y por la fuerza inductora para seguir adelante.

A toda mi familia, en particular mis hermanas y hermanos Clotilde Joaquim, Analide Joaquim, Laureta Joaquim, Arlindo Joaquim y Dinildes Joaquim que siempre acreditaran en mí y me dieron la fuerza y energía necesaria para vencer los obstáculos que se me presentaban, “gracias mis adorables hermanos”.

... y como desafortunadamente mi mente me puede traicionar, tratando de ocultar nombres de personas que han jugado un rol importante en este trabajo, estoy dedicando este último párrafo, no por tener menor importancia, más porque los últimos serán los primeros (cita bíblica) aquellos que contribuyeran para el fin de este trabajo por su apoyo moral, técnico, científico, por el valor que tuvieran en aportar y hacer parte de esta etapa de mi vida.

A todos muchas gracias...

La autora

Citación correcta Norma ISO 690

Según Sistema de Referencia Numérico

1. Vaz-Pereira, Dácia J. C. J. Contribución a la sostenibilidad de la producción de maíz (*Zea mays* L.), en Huambo, Angola a través del manejo agroecológico de las arvenses [Tesis en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Agrícolas] San José de las Lajas: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, 2015. 100 p.

Según Sistema de Referencia Apellido, año

Vaz-Pereira, Dácia J. C. J. 2015. Contribución a la sostenibilidad de la producción de maíz (*Zea mays* L.), en Huambo, Angola a través del manejo agroecológico de las arvenses [Tesis en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Agrícolas] San José de las Lajas: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. 100 p.

SÍNTESIS

SÍNTESIS

Mediante un estudio de métodos agroecológicos de manejo de arvenses para elevar la sostenibilidad de la producción de maíz en Huambo, Angola, se condujo una investigación integral, que incluyó el estudio de aspectos socioculturales y tecnológicos. Un diagnóstico general realizado mostró distanciamiento de la sostenibilidad en sus tres dimensiones principales y para los Niveles de Desarrollo Agrario (NDA) existentes, con menores efectos medioambientales para el NDA representante de los agricultores de menores ingresos (97 % del total); los que personifican cinco grupos, de los cuales el 15 % produce para la comercialización. Fue comprobado, participativamente, el rol de las arvenses y la necesidad de su manejo agroecológico. Investigaciones de campo en dos localidades permitieron conocer las arvenses totales y dominantes en los agroecosistemas con maíz, y su período crítico de competencia (entre 21 a 49 días de la germinación), la eficiencia económica y medioambiental del Método Cultural de Manejo (maíz asociado) respecto al uso de herbicidas y maquinarias, los precedentes culturales más eficientes (girasol en monocultivo y asociado, soya y batata) en sus efectos positivos sobre las arvenses y rendimientos del maíz como cultivo sucesor. Se propuso un sistema integral de manejo de arvenses, para los tres NDA de Huambo.

LISTA DE ACRÓNIMOS

ANGOP – Agencia Angola Press

ACMG - Agrónomos del Centro Maya Generación 2010-2014

AE - Agricultura Ecológica

AS - Agricultura Sostenible

ATER - Índice Equivalente del Uso de la Tierra en el Tiempo

CEIC/UCAN - Centro de Estudio y Investigación Científica de la Universidad Católica de Angola

CIMMYT - Centro de Investigación y Mejoramiento de Maíz y Trigo

DAUNS - Departamento de Agronomía. Universidad Nacional del Sur (Argentina)

DBMP - Departamento de Botánica y de Mejoramiento de Plantas (Angola)

DRAE - Real Academia Española, *Diccionario de la lengua española*

DR - Dominio de Recomendaciones

EMBRAPA - Empresa Brasileña de Pesquisas Agropecuarias

FAO – Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación

FCA - Facultad de Ciencias Agrarias (Angola)

IDA - Instituto del Desarrollo Agrario (Angola)

IET - Índice Equivalente del Uso de la Tierra

IGC - Consejo Internacional de Cereales

IGS- Índice General de Sostenibilidad

IIA – Instituto de Investigación Agronómica (Angola)

INAMET – Instituto Nacional de Meteorología (Angola)

INCA - Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (Cuba)

INE – Instituto Nacional de Estadística (Angola)

INIFAT - Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical (Cuba)

INISAV - Instituto de Investigación de Sanidad Vegetal (Cuba)

MAT – Ministerio de Administración del Territorio (Angola)

MEDEBIVE - Metodología para el Desarrollo de la Biodiversidad Vegetal

MEMI – Modelo Estadístico de Medición de Impacto

MESMIS - Marco de Evaluación de Sistemas de Manejo incorporando Indicadores de Sostenibilidad

MINADER – Ministerio de la Agricultura y Desarrollo Rural (Angola)

MINAG - Ministerio de la Agricultura (Cuba)

NDA - Nivel de Desarrollo Agrario

NDA_d - Nivel de Desarrollo Agrario *por Dimensiones*

PAM - Programa Alimentar Mundial

PIP - Programa de Inversión Pública

PROMEDAS - Propuesta Metodológica para la Evaluación de la Sostenibilidad de los Agroecosistemas

REPCOANGOLA - Representación Económica de Angola en el Reino de España. Agricultura y Ganadería

RRT - Rendimiento Relativo Total

SAM 3 - Sintético Amarelo Maria3 (tercera generación)

TMAC - Tasa Media Anual de Crecimiento

UJES - Universidad José Eduardo dos Santos (Angola)

USDA - Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América

GLOSARIO

Abundancia: (del latín *Abundantia*, con igual significado), f. se llama así, en el estudio cuantitativo de las asociaciones vegetales, el número relativo de individuos de cada especie que la componen. Los números se refieren a unidad de superficie, que varían según el biotipo. Así en la sinfonía arbórea el número de pies se puede referir a la hectárea; pero para especies herbáceas pequeñas hay que adoptar áreas menores. Los métodos empleados varían por concepto¹.

Antropogénico: de origen humano o derivado de la actividad del hombre².

Agámica: unión asexual, multiplicación por vía sexual vegetativa¹.

Fitocenosis – vocablo preferido por la mayoría de los eobotanistas, para expresar la unidad más general de la colectividad vegetal. Encierra la idea, no solo de cohabitación en un medio sino, de una cierta relación objetiva de las plantas entre sí¹.

Dominancia: (del latín *domestica*, der. de *dominare*, dominar). Por el concepto de hegemonía, las especies dominantes pueden definirse como aquellas a cuyas necesidades está supeditada la ecies de las demás. Como máximo, las dominantes forman la masa vegetal de la colectividad (% de cobertura). Una planta puede ser dominante y no ocupar el máximo relativo de superficie¹.

Dominio de Recomendaciones: es igual a la valoración que se le da a los agroecosistemas similares de acuerdo su nivel de desarrollo y a los cuales se le hacen similares recomendaciones. Para una comunidad regularmente y de acuerdo a CIMMYT (1988) se definen tres dominios (DRI, DRII y DRIII). Para las condiciones de Huambo, estos DR se equivalen a los Niveles de Desarrollo Agrario

¹ P. FONT QUER. Diccionario de Botánica. Edición revolucionaria. Instituto del libro. 1970, 1244 pp.

² Green, Facts. Facts on health and on environment. Glosario. [en línea] 2013. [Consultado: enero 2015]. Disponible en: <http://www.greenfacts.org/es/glosario/abc/antropogenico.htm>.

(NDA), atendiendo sus características básicas y el nivel de tecnología aplicada para la producción de alimentos³.

Estado del arte: es una modalidad de la investigación documental que permite el estudio del conocimiento acumulado (escrito en textos) dentro de un área específica. Sus orígenes se remontan a los años ochenta, (siglo XX) época en la que se utilizaba como herramienta para compilar y sistematizar información especialmente en el área de las ciencias sociales; sin embargo, en la medida en que estos estudios se realizaron, con el fin de hacer balances sobre las tendencias de investigación y como punto de partida para la toma de decisiones, el estado del arte se posicionó como una modalidad de investigación. Hoy en día se considera que, en general el estado del arte puede abordarse desde tres perspectivas fundamentales. Sea cual fuere el abordaje del estado del arte, se considera que su realización implica el desarrollo de una metodología resumida, los cuales son complementados por una fase adicional que permita asociar al estado del arte de manera estructural, es decir, hacer el análisis (sinónimo de investigación). De esta manera se observa que la realización de estados del arte permite la circulación de la información, genera una demanda de conocimiento y establece comparaciones con otros conocimientos paralelos a este, ofreciendo diferentes posibilidades de comprensión del problema tratado; pues brinda más de una alternativa de estudio³.

Gámica: unión sexual, plantas que tienen el embrión bilobulado¹.

Holístico o pensamiento holístico: es una forma de percepción y análisis de la realidad de un modo global o integral. En ocasiones se utilizan términos relacionados como pensamiento sistémico o pensamiento complejo. Desde algunas concepciones teóricas, se opone a un tipo de

³ CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo). Planificación de Tecnología apropiada para los agricultores, conceptos y procedimientos. México. Ed. CIMMYT. 1988. 71 pp.

pensamiento analítico en el que se analiza un sistema a través de sus partes y su funcionamiento. Se entiende que el pensamiento holístico es un modo de pensar natural y propio del ser humano, capaz de abstraer ideas, realizar conexiones y obtener una visión de conjunto de un sistema complejo⁴.

⁴ Online Language Dictionaries. [en línea] 2013. [Consultado: enero 2015]. Disponible en: <<http://www.fao.org/news/story/es/item/169177/icode>>. <http://www.wordreference.com/definicion/ho%C3%ADstico>

ÍNDICE

| | Pág. |
|---|------|
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA | 6 |
| 2.1. El cultivo de maíz. Una mirada histórica de su producción en Angola. | 6 |
| 2.1.1. El maíz como base alimentaria de la población de Huambo, Angola. | 8 |
| 2.1.2. La agricultura sostenible y la agroecología. Su aplicación en la producción de maíz en Huambo, Angola. | 9 |
| 2.1.2.3. La política agraria en Angola, para el desarrollo local. | 10 |
| 2.1.2.4. Valoración general sobre el nivel de desarrollo agrario en Huambo, Angola. | 11 |
| 2.1.2.5. Principales limitantes para la producción de maíz en Huambo, Angola. | 12 |
| 2.1.2.6. Limitaciones en los métodos fitotécnicos de manejo del cultivo de maíz en Angola. | 13 |
| 2.1.2.7. Generalidades y limitantes de la tecnología de producción de maíz en Huambo, Angola. | 14 |
| 2.2. Metodologías existentes en función del desarrollo agrario local. | 15 |
| 2.3. Las arvenses. Su manejo eficiente desde una visión Agroecológica | 16 |
| 2.3.1. Definición de arvenses | 16 |
| 2.3.2. Beneficios de las arvenses | 18 |
| 2.3.3. Las arvenses y la competencia. | 18 |
| 2.3.3.1. La competencia por interferencia y alelopatía. | 19 |
| 2.3.4. Las arvenses y su importancia en la sostenibilidad de los agroecosistemas. | 21 |
| 2.3.4.1. El conocimiento del período crítico de competencia interespecífica maíz-arvenses. | 23 |
| 2.3.4.2. Los métodos de manejo de arvenses. | 24 |
| 2.3.4.2.1. Método químico de manejo de arvenses. | 24 |
| 2.3.4.2.2. Método mecánico de manejo de arvenses. | 25 |
| 2.3.4.2.3. Método cultural de manejo de arvenses. | 26 |
| 2.3.2.2.4. Método integrado de manejo de arvenses. | 27 |
| 2.4. Las alternativas agroecológicas para el manejo de los agroecosistemas y sus ventajas. | 28 |
| 2.4.1. Los precedentes culturales como alternativa de manejo de arvenses. | 29 |
| 2.4.2. Las asociaciones de cultivo como alternativa para el manejo de arvenses. | 31 |
| 2.5. Consideraciones finales. | 33 |

| | |
|--|-----------|
| III. MATERIALES Y MÉTODOS | 34 |
| 3.1. Ubicación y condiciones edafoclimáticas. | 34 |
| 3.2. Esquema integral de la investigación. | 34 |
| 3.2.1. Estudio de aspectos socioculturales. Descripción del diagnóstico general y específico. | 36 |
| 3.2.2. Estudio de aspectos tecnológicos. Descripción de la fase experimental de campo | 39 |
| 3.2.2.1. Características generales de la localidad de Chianga. | 39 |
| 3.2.2.2. Características generales de la localidad de Ngongoinga. | 39 |
| 3.2.2.3. Análisis del suelo en las áreas experimentales. | 40 |
| 3.2.3. Análisis de las arvenses en las localidades de Ngongoinga y Chianga. | 41 |
| 3.2.4. Conducción del programa de experimentación en condiciones de campo. | 42 |
| 3.2.4.1. Observaciones generales realizadas en los experimentos. | 42 |
| 3.2.4.1.1. Evaluaciones generales en el cultivo de maíz. | 42 |
| 3.2.4.1.2. Evaluaciones generales en las arvenses. | 43 |
| 3.2.4.1.3. Análisis estadístico aplicado. | 43 |
| 3.2.4.2. Estudio del período crítico de competencia interespecífica maíz-arvenses. | 43 |
| 3.2.4.3. Estudio de los métodos de manejo de arvenses. | 45 |
| 3.2.4.3.1. Indicadores de la rentabilidad del sistema. | 46 |
| 3.2.4.4. Estudio de precedentes culturales al cultivo de maíz. | 47 |
| 3.2.4.4.1. Experimento realizado en la localidad de Chianga. | 47 |
| IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 50 |
| 4.1. Resultados del estudio de los aspectos socioculturales. Valoración de la agricultura en Huambo. | 50 |
| 4.1.1. Determinación del Índice General de Sostenibilidad (IGS) por niveles de desarrollo agrario. | 52 |
| 4.1.2. Nivel de Desarrollo Agrario por dimensiones. | 54 |
| 4.1.3. Índice General de Sostenibilidad (IGS) de la producción de maíz. | 55 |
| 4.1.4. Diagnóstico específico. | 56 |
| 4.1.4.1. Nivel de Desarrollo Agrario de los agricultores de menores ingresos en Huambo. | 56 |
| 4.1.4.2. Análisis del Dendrograma según las variables cuantitativas. | 59 |
| 4.1.4.3. Análisis de las variables cualitativas. | 61 |

| | |
|---|-----|
| 4.1.5. Consideraciones finales. Principales problemas visualizados durante el diagnóstico. | 62 |
| 4.2. Resultados del estudio de aspectos tecnológicos. Análisis de la investigación de campo. | 63 |
| 4.2.1. Resultados del registro de arvenses en las localidades de Ngongoinga y Chianga. | 63 |
| 4.2.2. Valoración final sobre las arvenses en Huambo. | 65 |
| 4.2.3. Resultados del período crítico de competencia interespecífica maíz-arvenses. | 66 |
| 4.2.3.1. Relación entre la altura y el número de hojas de maíz vs tiempo de convivencia con las arvenses. | 66 |
| 4.2.3.2. Análisis de los rendimientos | 69 |
| 4.2.3.2.1. Relación entre la altura y número de hojas con los rendimientos del maíz. | 71 |
| 4.2.3.3. Comprobación del período crítico de competencia interespecífica maíz vs arvenses. | 75 |
| 4.2.4. Resultados del estudio de los métodos de manejo de arvenses en el maíz. | 77 |
| 4.2.4.1. Análisis de las arvenses registradas en la superficie experimental. | 78 |
| 4.2.4.2. Análisis de los costos incurridos durante el ciclo del cultivo de maíz. | 78 |
| 4.2.5. Resultados de la influencia de los precedentes culturales en el cultivo de maíz. | 83 |
| 4.2.5.1. Efectos de los precedentes sobre las arvenses y su dominancia. | 83 |
| 4.2.5.2. Influencia de los cultivos precedentes sobre la altura y número de hojas de maíz. | 86 |
| 4.2.5.3. Influencia de los cultivos precedentes sobre dominancia de las arvenses durante el crecimiento y desarrollo del maíz como cultivo sucesor. | 87 |
| 4.2.5.4. Análisis de los rendimientos de los cultivos precedentes al maíz. | 90 |
| 4.2.5.5. Influencia de los precedentes en los rendimientos de maíz como cultivo sucesor. | 91 |
| 4.2.5.6. Análisis del Índice Equivalente del Uso de la Tierra (IET). | 94 |
| 4.2.5.7. Consideraciones finales acerca de los precedentes culturales. | 96 |
| 4.2.6. Propuesta de sistema integral de manejo de arvenses para Huambo, Angola. | 97 |
| V. CONCLUSIONES | 99 |
| VI. RECOMENDACIONES | 100 |
| VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | |
| VIII. ANEXOS | |

I.

INTRODUCCIÓN

I. INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.), es uno de los granos alimenticios más antiguos que se conocen; es utilizado como insumo de un gran número de productos industriales y, adicionalmente, la planta proporciona una alta producción de biomasa de gran provecho para la alimentación animal (Guzmán, 2013). Desde el punto de vista nutricional, se le compara favorablemente con el valor nutritivo del arroz y el trigo. Su aspecto nutricional más pobre es la calidad de las proteínas; sin embargo, la creación de variedades provistas de mayor calidad proteica, ha permitido solventar esa limitante (Paliwal, 1996). Hoy el maíz se cultiva en más de 113 países, siendo EE UU, China y Brasil los mayores productores a nivel mundial y por su producción total es el segundo cultivo después del trigo (Global Agropanorama, 2014).

Dentro de la población africana el cultivo de maíz es un alimento tradicional. En particular los angolanos lo consumen en cantidades que superan al cultivo de la yuca (PAM, 2005). Basado en documentos oficiales (IIA-DBMP, 2003, Nuñgulu *et al.*, 2006), el Planalto Central, al cual pertenece la provincia de Huambo, es el eje de mayor productividad de maíz a nivel nacional, con rendimientos que fluctúan entre 250 a 700 kg ha⁻¹ para los pequeños productores, mientras los que poseen recursos de capital adecuados, varía entre 1 500 a 2 500 kg ha⁻¹.

Los problemas que limitan la productividad de maíz en Huambo, son múltiples, algunos vinculados a la dimensión sociocultural y otros relacionados con la tecnología de producción, razones que imponen un análisis integral de la problemática. Una de las herramientas más utilizadas para los análisis de los agroecosistemas y como alternativa para evaluar la sostenibilidad de las localidades rurales, ha sido la determinación del Índice General de Sostenibilidad (IGS) propuesto por Zinck *et al.* (2005), que ha resultado eficiente en su aplicación (Lores 2009 y Gravina, 2012), lo que unido a la propuesta de CIMMYT (1988) de hacer recomendaciones según los Niveles de Desarrollo Agrario, teniendo en cuenta las circunstancias de cada agroecosistema, facilita el entendimiento, hacia los problemas que exigen análisis integrales.

Dentro de los problemas tecnológicos de la provincia de Huambo, las arvenses constituyen uno de los principales, como consecuencia de haberse implementado una tecnología moderna inapropiada a nivel de desarrollo sociocultural de la mayoría de los productores de la localidad. Entre las técnicas agrícolas que mayor impacto negativo han tenido en el cultivo de maíz, se encuentra el uso continuo de herbicidas pre y post emergentes, que han provocado un elevado desequilibrio en los agroecosistemas, sobre todo por la dominancia de especies de arvenses como *Cyperus rotundus* L., que han invadido algunas zonas, por su alta resistencia a dichos productos (Roberto, 2013)¹, sin que se haya encontrado un método eficiente y económico para su manejo.

Ya en el mundo se hace casi imposible obtener cosechas rentables de maíz a gran escala, sin tener que utilizar dos o tres tipos de herbicidas selectivos para combatir especies altamente nocivas como *Rottboellia cochinchinensis* (L.) dentro de las monocotiledóneas (Arévalo *et al.*, 2014).

Otra de las técnicas utilizadas en el manejo de arvenses con cierta eficiencia, ha sido el empleo de las maquinarias motorizadas; sin embargo, sus limitaciones según Funes *et al.* (2009), radican en que provocan afectaciones en la composición de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, además de los elevados gastos de energía fósil que utiliza durante las labores de manejo.

La solución inmediata a esta problemática parece centrarse en encontrar el punto de integración de métodos, sobre la base del conocimiento de sus ventajas y desventajas y la necesidad, cada vez más apremiante de lograr sostenibilidad en el manejo de las arvenses, sin dañar los recursos naturales. En este contexto, hay que señalar que los métodos tradicionales de manejo, aunque son los más armónicos con la naturaleza, tienen dos inconvenientes prácticos: la escasez de mano de obra y la baja productividad (Altieri, 1999).

Los métodos agroecológicos de manejo preventivos contra las arvenses han sido olvidados, aun cuando ellos han mostrado su eficiencia, según el propósito de cada labor de manejo

¹ Roberto, A. Gerente de la finca “Akadumbo”. Noviembre 09 de 2013. Comunicación personal.

(Gliessman, 2007). En este contexto, los más eficientes, según Leyva (2007), son los sistemas rotacionales y los policultivos con especies que, utilizadas como precedentes culturales, regulan la fitocenosis y facilitan las condiciones para el buen desarrollo del cultivo sucesor.

Desde el punto de vista científico, la propia visión economicista de la industrialización de la agricultura vs análisis agroecológicos, ha hecho prescindir del conocimiento de aspectos básicos del manejo de arvenses, como son los períodos críticos de competencia interespecífica cultivo-arvenses, que según Mederos (2002), por lo general ocurre durante el primer tercio del ciclo del cultivo. Su conocimiento constituye una vía de resguardo a la economía del productor y como fuente de protección de los agroecosistemas, con la biomasa que se produce posterior al período crítico (Blanco y Leyva, 2011).

Angola y en particular la provincia de Huambo, no han escapado de la corriente generalizada del uso de herbicidas a gran escala y sufre de forma similar las mismas consecuencias acaecidas en otros países (REPCOANGOLA, 2011; FAO, 2013), de manera que el 97 % de la superficie dedicada al cultivo de maíz, pertenece a pequeños productores (MAT, 2013; Costa, 2013), los que utilizan herbicidas de forma periódica y prescinden de los métodos alternativos de manejo de arvenses, por desconocimiento de su existencia. Además, los agricultores no poseen dominio de los períodos críticos de competencia interespecífica arvenses-cultivo, de acuerdo con las variedades más utilizadas y no conocen la composición de la fitocenosis dentro del cultivo de maíz, el cual constituye el alimento principal de la localidad.

El Instituto de Investigación Agronómica (IIA) de Angola, se ha propuesto incursionar en el conocimiento de las arvenses y los métodos más armónicos con el medioambiente para su manejo, no solo por el daño que pueden provocar a los cultivos económicos como el maíz, sino también por su importancia sociocultural y como plantas con potencialidades para ser empleadas como alimentos y en la medicina verde. Por esas razones, esta investigación es el punto de partida para

la formación académica del personal que tendrá que enfrentar esos estudios, cuyos resultados son de suma importancia para el bienestar futuro de los angolanos.

Sobre las bases de lo anteriormente expresado, se puede plantear el siguiente problema:

¿Cómo incrementar la sostenibilidad productiva del cultivo de maíz en Huambo, Angola, basado en el manejo agroecológico de las arvenses?

Para dar solución al problema planteado se expone la siguiente **hipótesis**: *Se incrementa la sostenibilidad productiva del cultivo de maíz en Huambo, Angola, con el establecimiento de una estrategia de manejo de las arvenses basada en alternativas agroecológicas.*

Objetivo General

Proponer un modelo de manejo de las arvenses sobre bases agroecológicas, para el incremento de la sostenibilidad de la producción de maíz en los agroecosistemas de Huambo, Angola.

Objetivos específicos.

1. Diagnosticar el grado de acercamiento a la sostenibilidad de la producción de maíz, de forma general y por nivel de desarrollo agrario en Huambo, Angola.
2. Identificar las especies de arvenses dominantes, su repercusión sociocultural y determinar el período crítico de competencia interespecífica maíz-arvenses, en una variedad de ciclo largo para el período lluvioso.
3. Definir desde la visión agroecológica, los sistemas productivos más eficientes para el cultivo de maíz, con incremento de los rendimientos, mejora del equilibrio medioambiental y reducción de los costos de producción.
4. Evaluar los efectos de cultivos precedentes, sobre las arvenses y los rendimientos del maíz como cultivo sucesor del sistema productivo.
5. Proponer un modelo integral de manejo agroecológico de arvenses, donde se entrelaza los aspectos socioculturales y tecnológicos, para el incremento de la sostenibilidad de la producción de maíz en Huambo, Angola.

Novedad Científica de la Investigación

Se propone un modelo integral de manejo de las arvenses para el cultivo de maíz, fundamentado en el conocimiento de la problemática sociocultural y tecnológica, que considera alternativas agroecológicas, capaces de garantizar una mayor sostenibilidad de los sistemas productivos en Huambo, Angola. Además, se logra disminuir la dominancia de las arvenses con alta plasticidad ecológica, lo que repercute en una mayor estabilidad de los agroecosistemas, mientras se incrementa la eficiencia del sistema productivo.

Valor Práctico de la investigación

Consiste en la puesta en práctica de una estrategia agroecológica de manejo de arvenses para los sistemas productivos con maíz, para los productores de la provincia de Huambo, Angola, con independencia del Nivel de Desarrollo Agrario alcanzado en cada agroecosistema, que reduce los costos de producción, incrementa la diversidad alimentaria y, por tanto, eleva las ganancias de los actores involucrados en el proceso productivo.

II.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. El cultivo de maíz. Una mirada histórica de su producción en Angola.

El maíz es una gramínea cuya adaptabilidad permite que sea cultivado en más de 100 países. Por el volumen total de su producción es el segundo cereal del mundo, después del trigo (Guzmán, 2013). Los principales países productores de este grano son Brasil, China y Estados Unidos de América, con 217 730,000; 715,000 y 353,000 toneladas, respectivamente (Global, 2014). Este cultivo constituye un alimento de altísima significación en la vida de los habitantes locales, razones por las cuales su producción forma parte de la vida sociocultural de las comunidades rurales de Angola (FAO, 2010b).

La población Angolana se estima en 24 millones de habitantes (INE, 2014), de los cuales 12,5 millones se clasifican como pobres, ya que viven con sólo 1,7 dólar por día, en una situación de servicios básicos reducidos, bajos indicadores sociales y el funcionamiento del sistema de derechos muy débiles. La pobreza está asociada a la vulnerabilidad estructural de las familias, a las enfermedades y al poco acceso a los servicios básicos. La mayor parte de las personas viven en las ciudades (65 %), se estima que la pobreza tiene valores de 57 %, mientras que en el campo se alcanza el 94 %. Las familias más vulnerables dependen normalmente de la actividad agrícola para su supervivencia, siendo el maíz el cultivo principal de su alimentación (Pestana, 2009).

A pesar del considerable aumento en la producción a escala mundial, la oferta no satisface la demanda y se prevé que llegue a 988 millones de toneladas en el año 2018, lo cual es un indicador de que en los años precedentes, los precios se mantendrán altos (Miranda y García, 2013). En Angola, el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) ha sido siempre un renglón económico importante. En el período colonial el área cultivada con maíz alcanzaba la cifra de 145 930 hectáreas con producciones unitarias inferiores a media tonelada por hectárea (466 kg ha⁻¹) (Sardinha y Carriço, 1975). Las zonas favorables a la producción de maíz, que incluye el Planalto Central, fueron estudiadas por Marcelino (1973) y Diniz (1991), con algunas divergencias entre ellos.

Mientras el segundo limita su producción a la geografía, el primero asegura que prácticamente en ningún punto de Angola existe impedimento térmico para el cultivo de maíz siempre que las necesidades hídricas y nutricionales sean atendidas, lo que fue ratificado por Henriques (2010), quien afirmó que la posibilidad de utilizar el riego, permite el alargamiento sustancial de las zonas propuestas por dichos autores.

Dentro de los requerimientos medioambientales, el maíz exige un rango de temperatura que fluctúa entre 25 y 30 °C (Sito, 2004); sin embargo, puede resistir períodos cortos de temperaturas hasta 8 °C. Se adapta a casi todos los tipos de suelo, siempre y cuando pueda satisfacerse su alta demanda de agua y horas de sol (Guzmán, 2013).

Después de la independencia, como refiere Neto (2008), comenzó la disminución acentuada y vertiginosa de la producción de bienes alimenticios; esta disminución fue influida por la guerra civil y por las graves deficiencias en los cambios de la estructura agraria capitalista colonial de los sectores empresarial y tradicional, que es transformado por un modelo socializante constituido por un sector estatal agrario que incluye complejos agrarios y agro-industriales, agrupamientos de unidades de producción, cooperativas agrícolas y asociaciones de campesinos.

Sin embargo, la inestabilidad posterior al proceso electoral de 1992, así como el conflicto armado hasta el año 2002 son las razones que justificaron la reducida producción de bienes alimentarios (Neto *et al.*, 2006). La situación de la baja productividad unitaria verificada en la época colonial, no ha sido modificada sustancialmente y las áreas sembradas son aún insuficientes y aunque se avanza, los cambios aún son lentos.

Aunque la yuca parece tener un mayor peso en el consumo de productos alimenticios en Angola, no quedan dudas sobre la importancia del grano de maíz para la población de este país; sin embargo, su déficit en la producción nacional es evidente y, consecuentemente, existe una dependencia externa, que es suplida con donaciones e importación de harina de maíz de elevada demanda para el país (PAM, 2005).

Nuñgulu *et al.* (2006) han constatado que la mayor productividad de maíz, predomina en el Planalto Central, para ello, se han basado en documentos oficiales del IIA-DBMP (2003), y se asume que el rendimiento medio obtenido por los campesinos, -responsables de más del 90 al 95 % de la producción, varió entre 250 a 700 kg ha⁻¹; mientras que el de los agricultores con recursos de capital adecuado, fluctuó entre 1 500 a 2 500 kg ha⁻¹.

Chambassuco (2014) afirmó que en esta región, durante el Proyecto Nuevo Maíz, se experimentó apreciable subida de la productividad unitaria del maíz en granos de algunos productores, ya que se logró cuantificar hasta 6,3 t ha⁻¹, utilizando híbridos y tecnologías modernas en los campos de los agricultores con mayores recursos. Sin embargo, tales resultados podrían estar creando simultáneamente, desequilibrios en los agroecosistemas, por el elevado nivel de utilización de insumos químicos, lo que se ha manifestado sobre todo por la dominancia de algunas arvenses como *Cyperus spp.*, entre otras de alta plasticidad ecológica (Roberto, 2013).

2.1.1. El maíz como base alimentaria de la población de Huambo, Angola.

En Angola el maíz es cultivado en casi toda la extensión del territorio nacional (Sito, 2004). Este cereal ocupa la mayor área de producción (1 122,456 hectáreas) comparado con el resto de los cultivos. Es el principal alimento bajo diferentes formas de consumo para las personas con escasos ingresos (PAM, 2005). Cuando hay menos maíz, hay menos alimentos para la población, sobre las bases de la reducción planificada, correspondiente a más del 80 % en las calorías que consumen las familias más pobres (FAO, 2010b).

Para tratar de garantizar la alimentación de los angolanos el gobierno anualmente prepara más de cinco millones de hectáreas de suelo, de las cuales 570 mil se destinan al cultivo de maíz y frijol en cada provincia, con la distribución de 340 toneladas de semillas de maíz y 60 de frijol, así como 100 mil guatacas, 70 machetes y 40 animales para la tracción, lo que facilita que los campesinos obtengan buenas cosechas (Angop, 2012; Chambassuco, 2014). Los recursos para la preparación

de suelo se distribuyen según las disponibilidades, incluyendo los correspondientes a la tracción animal (MAT, 2013).

La ausencia en los paquetes tecnológicos de recursos que contribuyen a la protección de los agroecosistemas, evidencia la necesidad de incorporar técnicas y recomendaciones que se correspondan con la agroecología, como única opción para lograr éxitos en la agricultura de los pequeños productores de escasos recursos (Olivier De Schutter, 2010).

2.1.2. La agricultura sostenible y la agroecología. Su aplicación en la producción de maíz en Huambo, Angola.

La agricultura sostenible ha sido vista desde diferentes perspectivas, por tanto asienta numerosas definiciones. La FAO (2010a) en particular, la ha asumido como aquella que es capaz de garantizar las necesidades del presente sin hipotecar el futuro, Primavesi (1990) y Astier-Calderón *et al.* (2002) han señalado que todos los equilibrios naturales son de carácter cíclico y, por tanto, dinámicos, cada maximización en esos ciclos, los modifica o destruye, haciéndolos insostenibles. Así como el ecosistema es la unidad básica de la ecología, la agroecología como ciencia, asume al agroecosistema como su unidad básica de estudio (Ruiz, 1995). Gliessman *et al.* (2007) definen la agroecología como la ciencia que se encarga de la aplicación de la ecología a la agricultura; que proporciona normas para comprender la naturaleza, su funcionamiento; a la vez que aporta los principios ecológicos básicos para el estudio, diseño y manejo de los agroecosistemas culturalmente sensibles, socialmente justos y económicamente viables.

Según Altieri (2011) la Agricultura Sostenible (AS) se asienta sobre bases agroecológicas, protege las dimensiones socioeconómica y medioambiental y, por tanto, promueve una mayor utilización de los recursos naturales renovables. No existe una marcada contradicción entre ambas definiciones. Sin embargo, la agroecología como ciencia, fundamenta su aplicación en principios no en técnicas (Cruz, 2014).

A pesar de la importancia de la aplicación de los principios agroecológicos en la agricultura en países de bajo nivel de desarrollo, no se ha encontrado referencias de su aplicación en Huambo Angola, desde una perspectiva integral en busca del bienestar de las comunidades rurales, con especial significado para los agroecosistemas dedicados a la producción de maíz, principal alimento de la población angolana.

2.1.2.3. La política agraria en Angola, para el desarrollo local.

El gobierno angolano, ha superado el objetivo de desarrollo del milenio, al reducir a la mitad el porcentaje de personas que pasan hambre, lo que ha sido demostrado al compararse las cifras del primer lustro de la década del 90 del siglo XX, en relación con los años 2010-2012, con una disminución de la subnutrición en la población del 64 al 27 % (FAO, 2014a). Es propósito del gobierno seguir centrando sus esfuerzos en tres aspectos prioritarios: fortalecer la producción y la productividad de los pequeños agricultores; mejorar la seguridad alimentaria y la nutrición, así como reforzar la gestión sostenible de los recursos naturales (Silva, 2013).

Sin embargo, la tasa de crecimiento demográfico aumenta cada año (INE, 2014) y los bajos rendimientos de los principales cultivos han sido motivo de grandes preocupaciones, ya que se corre el peligro de incumplir la satisfacción de la demanda y retroceder en los avances logrados en los últimos 20 años. Por eso, el Gobierno de Huambo (Angola) declaró 2014 como el año de la agricultura, con incremento en la inversión del cultivo del maíz para garantizar la productividad y reducir la dependencia alimentaria (Guimbi, 2014).

En el ámbito del Programa de Inversión Pública (PIP) se prevé invertir más de 4 billones de Kz (400 000 USD) en acciones para el desarrollo del sector agrícola a través del crédito agrícola, para la adquisición de fertilizantes, instrumentos agrícolas y fundamentalmente en la investigación agraria, a través del Centro Experimental de Chianga (Dos Santos, 2013).

Los objetivos del gobierno angolano en los próximos años, están centrados en la seguridad alimentaria, la nutrición, la agricultura sostenible, el desarrollo rural y la gestión sostenible de los

recursos naturales (FAO, 2014a). Como contribución al programa de combate al hambre y la pobreza, se pretende aumentar la producción de maíz, frijol, soya, yuca, batata, leguminosas y maní (Chambassuco, 2014) y contribuir al Fondo Fundacionario de Solidaridad con África, concebido para intensificar los esfuerzos por erradicar el hambre (Dos Santos, 2013). Considerando que el desarrollo agrario sostenible es una filosofía que promueve el cambio de mentalidad hacia una producción donde se conjuguen las tres dimensiones de la sostenibilidad (Altieri, 2009; Altieri, 2011; Toledo, 2012), se deben aplicar los principios de la agricultura sostenible, basada en la toma de decisiones correctas sobre los recursos de los sistemas agrícolas naturales, los humanos, los de capital y los de producción (Morales y Betancort, 2012).

2.1.2.4. Valoración general sobre el nivel de desarrollo agrario en Huambo, Angola.

Aun cuando se aprecia una clara visión gubernamental hacia el desarrollo sostenible, esta se fundamenta en los principios de la agricultura de altos insumos (Díaz, 2014), la cual se encuentra en una severa crisis ambiental, originada por el uso de prácticas agrícolas intensivas que han traído como consecuencia la degradación de los recursos naturales, como la erosión de los recursos genéticos, la pérdida de las propiedades del suelo, la desertificación y la contaminación por agroquímicos, entre otros desequilibrios (López, 2007).

Por otra parte, los métodos de extensionismo continúan con los patrones tradicionales de no establecer recomendaciones acordes con el nivel de desarrollo agrario, contrario a la propuesta de CIMMYT (1988). Cada agroecosistema tiene sus propias características naturales, necesidades y aportes, por lo que la aplicación de recetas no es aplicable desde el punto de vista agroecológico (Ruiz, 1995; Brunett *et al.*, 2005). Es decir, no se puede establecer recomendaciones diferenciales ajustadas al nivel de desarrollo de cada agroecosistema, existiendo un claro entendimiento de que los productores con bajos niveles de desarrollo y escasos recursos y conocimientos sobre la agricultura son los predominantes y el nexo necesario con la agroecología puede ser la solución al

problema alimentario local, interpretando el mensaje de la Décima Sesión de los Derechos humanos del año 2010.

2.1.2.5. Principales limitantes para la producción de maíz en Huambo, Angola.

Una de las principales limitantes para la producción de maíz en Huambo, Angola, es la ausencia casi total de trabajos de investigación disponibles, que indiquen el uso eficiente de las técnicas agronómicas básicas, la elevada dependencia de insumos externos, el grado de deterioro de los suelos, incluyendo los problemas relacionados con la acidez de estos, principalmente en el Planalto Central, provincia de Huambo; otra limitante está relacionada con la falta de variedades de ciclo corto disponibles, de acuerdo con la preferencia de los productores y consumidores, sumado a los escasos conocimientos para lograr mayores producciones por superficie a través de un manejo eficiente de las arvenses.

Los agricultores alcanzan rendimientos del maíz muy bajos y rechazan la posibilidad de obtenerlos aceptables, sin el uso de fertilizantes. Para algunos de ellos, las aplicaciones de dosis superiores a las exigencias nutricionales de los cultivos, incrementan sus rendimientos, por desconocerse las teorías y leyes que rigen la nutrición de las plantas, como las teorías del mínimo y de los rendimientos decrecientes (Mejías, 1991), con las consecuentes pérdidas económicas, contaminación del medio ambiente y estimulación a la proliferación de especies de arvenses dominantes en sus agroecosistemas.

La mayor parte de las adversidades, limitantes de la productividad del maíz, es posible sortearlas con alternativas de manejo agroecológico; sin embargo, dentro de la política agraria del país, se prevé la producción bajo los principios de la agricultura de altos insumos (FAO, 2013), dado que en Angola, actualmente, se impulsa la producción agrícola con la ejecución de políticas de incentivos a los agricultores, de insumos materiales y pie de cría animal, sobre la base de la agricultura moderna (Guimbi, 2014).

Corresponde a los facilitadores del desarrollo sostenible con base en la agroecología, estimular a los productores de menores ingresos a manejar con inteligencia los recursos que reciban, combinando las técnicas ancestrales con las modernas, favoreciendo de esta manera el cuidado medioambiental.

2.1.2.6. Limitaciones en los métodos fitotécnicos de manejo del cultivo de maíz en Angola.

En el Planalto Central de Angola impera el sistema de manejo monocultural, que tiene su principal predominio en el período lluvioso (MINADER y FAO, 2003), donde se produce el 95 % de los productos agrícolas (Below, 2002; FAO, 2007). Se utiliza fundamentalmente variedades locales de ciclo largo (seis meses), por lo que regularmente se obtiene una cosecha por año. Los productores de mayor nivel de desarrollo agrario, por poseer sistemas de regadío, utilizan parte de este suelo para la producción de otros cereales y leguminosas en monocultivo; es decir, los sistemas diversificados solo se aplican en zonas bajas, cerca de los ríos con superficies muy pequeñas (Roberto, 2013; Cassela, 2013)².

Italconsult (1990) recomienda que para la producción de maíz en Angola, la preparación del suelo debe realizarse con una labor de 20 a 25 cm de profundidad. Después de las primeras lluvias, se hacen dos pases de gradas para dejar la superficie lisa y limpia de arvenses. Las siembras se realizan cuando la pluviometría es regular para que las plantas puedan aprovechar el calor de los días largos y lluviosos.

Las fechas de siembra se enmarcan entre los meses de octubre-noviembre, febrero-marzo y agosto y la densidad para siembra mecanizada fluctúa entre 40 000 y 60 000 plantas ha⁻¹, con arreglos espaciales de 90 x 30 u 80 x 20 cm, respectivamente y utilización de semillas tratadas previamente con agroquímicos, a razón de 20 a 25 kg ha⁻¹ (Melo-e-Abreu *et al.*, 2006).

² Cassela, A. 2013. Funcionario de la finca experimental de la Facultad de Ciencias Agrarias (FCA), Huambo. Angola. Comunicación personal

La siembra manual se realiza a razón de un surco distanciado de otro por 80 y 40 cm entre plantas, con dos semillas por nido (Italconsult, 1990). El manejo de las arvenses se hace regularmente con herbicidas utilizando productos como Atrazina, Alachlor, Cyanozine, Butylate; también pueden ser manuales (entre tres y cuatro), con tracción animal o mecánica (Henriques, 2008). Desde el punto de vista nutricional, para producir 100 kg de granos, el maíz requiere 2,4 kg de N; 2,2 kg de P₂O₅ y 3 kg de K₂O. Los rangos de la composición de fertilizantes fórmula completa, están por encima de 150-60-160 kg de NPK respectivamente (Sito, 2004).

Las tres plagas más importantes, *Elasmo palpus lignosellus* (L.) (lagarta-elasmo); *Agrotis ipsilon* (L.) (lagarta-rosca) y *Spodoptera frugiperda* (L.) conocida en Angola como lagarta del cartucho, son controladas por tratamientos químicos (sistémicos o de contacto); y también se utilizan variedades resistentes, que posean mucha biomasa alrededor de la espiga (Costa y Venâncio, 2008). En condiciones de almacenamiento surgen otras como el *Sitophilus zea mays* L. (gorgujo o caruncho), *Sitotroga cerearella* L. (traza de los cereales) y *Prostephanu struncatus* L. (broca-grande-de-grano), responsables de pérdidas en granos (Rodrigues *et al.*, 2009); sin embargo, los productores de bajos insumos no cuenta con grandes producciones que requieran almacenamiento por mucho tiempo.

2.1.2.7. Generalidades y limitantes de la tecnología de producción de maíz en Huambo, Angola.

Del análisis realizado, se puede apreciar que las propuestas de métodos fitotécnicos para el cultivo de maíz en Angola, no distan significativamente de las recomendaciones internacionales, según las normas técnicas de la agricultura de altos insumos, teniendo en cuenta sus exigencias edafoclimáticas y nutricionales (Sito, 2004). Sin embargo, la falta de su aplicación eficiente, parece estar determinada por la carencia de la información necesaria de las buenas prácticas agrícolas (MINADER y FAO, 2003).

La agricultura tradicional, que es la más armónica con la naturaleza, porque utiliza métodos ancestrales de conservación y reposición de la nutrición de los suelos, ha sido prácticamente abandonada. La ausencia de técnicas conservacionistas como el uso de policultivos, la tracción animal, el uso de variedades locales, el estiércol animal y los precedentes culturales eficientes, por solo citar algunos ejemplos, ha facilitado la degradación acentuada de los suelos, añadido al uso excesivo de productos químicos, ya sea para el control de las plagas y las arvenses o para incrementar los rendimientos (Altieri *et al.*, 2003; Morell *et al.*, 2006; Morell y Hernandez, 2008; Castro, 2009; Altieri y Nicholls, 2010; Castro, 2012).

Los productores de bajos ingresos, utilizan arreglos espaciales que generan densidades de siembra extremadamente bajas y, por consiguiente, se incrementa la proliferación de arvenses, al facilitársele espacios que corresponden al cultivo de maíz. Además, el uso continuo de métodos de manejo químico en una producción monocultural, ha provocado dominancia de arvenses difíciles de manejar, lo que contribuye al incremento de las dosis de aplicación sin éxitos económicos y la concentración de agroquímicos en el suelo.

2.2. Metodologías existentes en función del desarrollo agrario local.

Ponce *et al.* (2011) plantean que los sistemas agroecológicos bajo estudio de sostenibilidad, debían cumplir los siguientes requisitos: 1) responder a las necesidades y demandas reales de las comunidades; 2) adaptar las tecnologías a condiciones socioeconómicas y biofísicas de los agricultores y el entorno; 3) mejorar la salud del agroecosistema (suelo, biodiversidad); 4) brindar a las comunidades la capacidad de observar y de toma de decisión; 5) evaluar la sostenibilidad de los agroecosistemas.

Varias son las metodologías asumidas a escala internacional que buscan el acercamiento a la evaluación de los agroecosistemas y su entorno; entre ellos, el Marco de Evaluación de Sistemas de Manejo incorporando Indicadores de Sostenibilidad (MESMIS), constituye una metodología de evaluación que sirve de punto de apoyo para hacer operativo el concepto de sostenibilidad en la

búsqueda de un desarrollo económico-social equitativo y ambientalmente sano de las comunidades rurales (Astier *et al.*, 2002; Masera *et al.*, 2000). Esta metodología asume indicadores de las tres dimensiones de la sostenibilidad, con sus correspondientes variables; sin embargo, no asume la biodiversidad como indicador supremo. Por ello, un agroecosistema poco diverso pudiera ser considerado adecuado desde su funcionalidad, carente de la diversidad mínima de apoyo al auto sostenimiento y cismático de la vivienda y su entorno.

La Metodología para el Desarrollo de la Biodiversidad Vegetal (MEDEBIVE) se fundamenta en el análisis integral del agroecosistema como un todo y en el criterio filosófico “La biodiversidad es el principio fundamental de la Agricultura Sostenible”, utilizando conceptos de la investigación participativa, detectando las debilidades y las fortalezas, las oportunidades y las amenazas de cada agroecosistema y su territorio, para adentrarse en el camino hacia el desarrollo sostenible (Leyva, 2005). Esta metodología asume la vivienda y su entorno como elemento clave del auto sostenimiento; sin embargo, por haber sido dirigida sólo a la diversidad vegetal y haberse comprobado su eficiencia desde una óptica parcializada, limita su aplicación para evaluar sistemas integrales; por ello, Lores (2009), tomando como base dicha metodología incorpora la diversidad animal y nuevos elementos como los Dominios de Recomendaciones, para llamarla Propuesta Metodológica para la Evaluación de la Sostenibilidad de los Agroecosistemas Sostenibles (PROMEDAS).

Estas metodologías de evaluación de agroecosistemas no se han tenido en cuenta para evaluar la sostenibilidad de la producción Agraria en Huambo, donde el maíz constituye el cultivo principal, lo que le confiere debilidad, para poder hacer recomendaciones integrales con alcance de futuro.

2.3. Las arvenses. Su manejo eficiente desde una visión agroecológica

2.3.1. Definición de arvenses.

Desde que el hombre comenzó a cultivar las plantas hasta la actualidad, ha establecido una competencia sin descanso contra las arvenses. Para dominarlas, ha acudido a todo tipo de métodos,

tanto preventivos como curativos, de manera que las arvenses han estado en la mente del agricultor como un enemigo que hay que vencer (Torres y Quintanilla, 1991) y no como parte de la comunidad de especies dádivas de la naturaleza con las que hay que convivir de forma armónica (Leyva, 2011).

En el primer diccionario general etimológico de la Lengua Española son definidas las arvenses como "maleza" o abundancia de hierbas malas que perjudican a los sembrados (DRAE, 2014). Así con el paso del tiempo, se les han designado nombres como "plantas que interfieren con el hombre en las áreas de su interés" (Torres, 1987) "plantas nocivas, molestas, desagradables a la vista y a la vez inútiles, inoportunas, indeseables, adventicias o extrañas. Estas definiciones de corte agresivo, no solo transmiten un sentimiento de rechazo, sino también de animadversión hacia esas especies vivientes (León y Ravelo, 2010).

El término "arvense" apareció como una palabra necesaria, para sustituir términos como el de "malezas" del latín *malitia* o malas hierbas, de la traducción del Inglés "Weed" (Quintero y Rodríguez, 1982; Marroquín *et al.*, 2006), término que suaviza las definiciones precedentes, al considerar a las arvenses como plantas que crecen en los sembrados y que, por su plasticidad ecológica, tienen la característica de invadir nuevos hábitats, persistir en ellos, a pesar de las acciones introducidas por el hombre y competir de forma ventajosa con las plantas cultivadas; se les reconoce como las principales limitantes bióticas de los cultivos agrícolas, lo que genera especial atención hacia métodos de manejo que, además de eficientes, sean seguros para el hombre y los agroecosistemas (Giménez, 2011).

Las arvenses también son plantas no deseables, de escaso valor nutritivo para los animales y que pueden ser hospederos de plagas y enfermedades, tanto para los pastos como para los animales (Canizales *et al.*, 2010), por tanto las arvenses representan a cualquier especie vegetal que crece de forma silvestre en una zona cultivada o controlada por el ser humano como cultivos agrícolas o jardines (Malebrán, 2013). En el sentido agronómico, representan plantas sin valor económico,

que crecen fuera de lugar, interfiriendo en la actividad de los cultivos, afectando su capacidad de producción y desarrollo normal en la competencia por el agua, la luz, los nutrientes y el espacio físico o por la producción de sustancias nocivas (Blanco y Leyva, 2013).

2.3.2 Beneficios de las arvenses

A partir de la primera década del siglo XXI, se defiende la nueva visión agroecológica de ver las arvenses como especies equilibradoras y reservorios de la diversidad productiva de los agroecosistemas (Nicholls y Altieri, 2012), aun cuando todavía son un enigma de la naturaleza, cargadas probablemente de numerosos beneficios por descubrir (Leyva y Pohlen, 2005). Las arvenses han acompañado siempre a la agricultura y su control o erradicación ha sido uno de los principales objetivos del hombre (Sarandón, 2005); sin embargo, si estas son manejadas correctamente, manteniéndolas por debajo de determinados umbrales durante los períodos de competencia, no causan daños (Blanco y Leyva, 2007).

Su presencia por debajo de los niveles de daño o fuera de estos períodos de competencia, puede resultar inocuo e incluso positiva. Los aspectos beneficiosos de la flora de arvenses son bien conocidos; mejoran la estructura y aumentan la actividad biológica del suelo, albergan insectos útiles al servir de hospederos de la fauna benéfica de los escenarios productivos; algunas son indicadoras del estado del suelo (Monge *et al.*, 2012). El papel de las arvenses como posible reservorio de la vida del suelo (hongos, bacterias o actinomicetos), es un tema casi virgen, pues los escasos trabajos encontrados en la literatura internacional, sólo se aborda el tema de forma indirecta (Morales y Betancort, 2012), por lo cual sería interesante comenzar investigaciones en este campo.

2.3.3. Las arvenses y la competencia.

Según Casper y Jackson (1997), la definición de competencia lleva en consideración la manera en que las plantas afectan la producción de otras y su cuantía. Park *et al.* (2001) declararon que la competencia es una interacción entre individuos, provocada por una exigencia compartida para un

recurso de provisión limitada, conduciendo a una reducción en el crecimiento y la supervivencia de la especie menos adaptada y enfatizan que la competencia asimétrica acontece cuando un número pequeño de individuos utiliza de forma desproporcionada, gran parte de los recursos disponibles, en detrimento del crecimiento de otros y en competición simétrica el crecimiento de cada planta está en proporción con su tamaño. Estos autores aprueban que la competencia asimétrica conduce a una mayor desigualdad de biomasa dentro de una población.

El grado de interferencia en la competencia interespecífica depende de factores relacionados con las arvenses (composición específica, densidad y distribución), del cultivar (género, especie, ciclo, entre otros) y de la duración del período de convivencia interespecífica, de la época en que este período ocurre, siendo modificada por las condiciones edafoclimáticas y por los manejos culturales (Kuva *et al.*, 2003).

2.3.3.1. La competencia por interferencia y alelopatía.

La ley de la producción competitiva indica que dos plantas no pueden crecer simultáneamente en el mismo espacio agrícola, sin que una de ellas se vea afectada en sus rendimientos (Vandermeer, 1995). Este principio responde a las competencias intra e interespecífica, que se clasifican por mecanismos y por especies, pueden ser tanto directa como indirecta. La competencia por interferencia ocurre directamente entre individuos (por agresión), que comparten un recurso común, por lo que esta puede alterar las poblaciones y la evolución de las especies involucradas; mientras que la intraespecífica ocurre por especies cuando los miembros de la misma población necesitan utilizar el mismo recurso de un ecosistema (Souza *et al.*, 2003; Begón *et al.*, 2006). Así, en condiciones de sequía, el crecimiento de las plantas con el sistema radicular profundo, puede ser reducido por la falta de N, P y K, antes de ocurrir el estrés hídrico (Lemaire, 2001).

Según el principio de exclusión competitiva, las especies menos aptas para competir deben adaptarse o de lo contrario se extinguen; la selección natural juega un rol fundamental en la

competencia dentro y entre las especies (Townsend *et al.*, 2003; Molles, 2005). Una mayor o menor densidad de plantas, en una determinada área, genera un comportamiento productivo diferenciado, en función de la competencia por espacio, agua, luz y nutrientes, que se establece en la comunidad vegetal (Miranda y García, 2013).

De acuerdo con Guilherme (2000) una reducción considerable en el crecimiento de especies, tanto intraespecífica como interespecífica, es la resultante de la competencia espacial entre grupos de plantas que ocupan el mismo local en un período de tiempo (Fernández *et al.*, 2002).

La alelopatía fue definida por Molish (1937) como la liberación de compuestos químicos de una especie vegetal, que tiene efectos negativos o positivos sobre especies vecinas (Anaya, 2005; Wu *et al.*, 2005; Acciaresi y Sarandón, 2005; Chon y Nelson, 2010; Pazmiño, 2013), por lo tanto, puede ser definida como la ciencia que estudia las relaciones entre plantas, ya sea por atracción, por protección, por rechazo o como resultado de las sustancias químicas que ellas emiten (Caamal-Maldonado *et al.*, 2001; Mederos, 2007; Oliveros *et al.*, 2009; Nikneshan *et al.*, 2011; Rheineck, 2011).

El manejo de cultivos alelopáticos se puede realizar básicamente con plantas acompañantes, repelentes y cultivos trampas (Inderjit *et al.*, 2010; Novaes *et al.*, 2013; Calderón, 2014). Los químicos alelopáticos pueden persistir en el suelo, afectando a plantas vecinas e incluso pueden afectar la germinación y el crecimiento de plántulas (Pazmiño, 2013; Costa, 2013; Rivera, 2013). Algunos cultivos pueden afectar el desarrollo de las arvenses durante su proceso de descomposición, al elevarse considerablemente la temperatura como son los casos del follaje de plátano (*Musa sp* L.), el de la caña de azúcar (*Saccharum sp* L.) y el del maíz (*Zea mays* L.), que al incorporarse al suelo, afectaron arvenses de importancia económica como el *Sorghum halepense* (L.) Pers, *Cyperus rotundus* L. y *Rottboellia cochinchinensis* (Lour.) Clayton.

El arroz (*Oryza sativa* L.) y el boniato (*Ipomoea batata* L.) han mostrado fuerte actividad de inhibición sin que por ello se trate de un efecto alelopático (Harrison y Peterson, 1986; Dilday *et*

al., 1992; Úgaro, 2000; Park *et al.*, 2001), a esa acción inhibitoria se le ha denominado interferencia, si no se demuestra que dichos efectos tienen una acción de origen química, ya que por la complejidad del tema y considerando que en la naturaleza las interferencias que se establecen entre las plantas son difíciles de separar, solo se puede identificar un fenómeno como alelopático cuando se prueba que es debido a acciones bioquímicas y no a factores edáficos, climáticos o de competencia por agua, luz y nutrientes (Kottir, 1994).

Trabajos conducidos por Beltrán (1998), así como en el INIFAT (1996) y Paredes (2011) han demostrado el efecto del girasol (*Helianthus annuus* L.), como planta que posee efectos alelopáticos negativos sobre el tomate, cuando han sido sembrados en asociación y más recientemente González *et al.* (2014) demostraron, bajo condiciones montañosas, que el efecto inhibitor del girasol sobre el tomate, proviene de las hojas cuando alcanzan la edad que supera los dos meses y observó, además, efectos positivos con el frijol.

Otro factor limitante es la heterogeneidad del suelo, la habilidad competitiva de las plantas, las respuestas positivas entre especies adaptadas a ambientes ricos y otras adaptadas a ambientes pobres en nutrientes, que promueven la estabilidad del ecosistema (Aerts, 1999).

2.3.4. Las arvenses y su importancia en la sostenibilidad de los agroecosistemas.

La biodiversidad es considerada uno de los principales fundamentos de la Agricultura Sostenible dentro de un agroecosistema, garantizando la protección de sus recursos naturales y su estabilidad, base del equilibrio ecológico (Benavides *et al.*, 2006; Leyva y Muñoz, 2007; Vázquez, 2010). La conservación y el uso sostenible de la biodiversidad es uno de los desafíos más importantes que tiene que afrontar la humanidad en estos tiempos (Sarandón, 2010).

Desde el punto de vista agroecológico, el replanteo en el manejo de arvenses se debe considerar como integrante de un agroecosistema dinámico, de modo que se evita la reducción de la diversidad genética, se eleva la fauna benéfica, disminuye la lixiviación e incremento de los nutrientes almacenados en la vegetación espontánea, con mayor captación de recursos y

producción de biomasa para el sistema, mientras la biodiversidad de la vida del suelo se incrementa (Sampietro, 2000; Acciaresi y Sarandón, 2005).

Existen especies de plantas, que al convivir en competencia interespecífica con cultivos económicos deterioran sus rendimientos; entretanto, en la concepción teórica de la agricultura sostenible, las arvenses son especies imprescindibles en los sembrados, a las que hay que regular su dominancia y mantener una abundancia por debajo del umbral económico y su manejo debe considerar aspectos del agroecosistema como los problemas de erosión, cobertura y conservación de la fertilidad del suelo (Bertolini *et al.*, 2008; Espinosa, 2012).

También, la diversidad de especies de arvenses, contribuye al incremento de la estabilidad total en los sistemas agrarios, en presencia de determinados niveles de abundancia, con lo cual aumentan los insectos benéficos (Blanco, 2010). Las arvenses juegan un rol benéfico como elemento de la estructura de la comunidad agrícola, proveen aireación al suelo, además de ser reserva de nutrientes y humedad. Muchas arvenses ayudan a la cobertura del suelo, evitando la desecación y como consecuencia de los efectos alelopáticos, inhiben otras especies probablemente nocivas (Zuluaga *et al.*, 2009).

Actualmente se considera que las arvenses tienen un profundo impacto en la composición e interacciones de la entomofauna dentro de los cultivos. Los predadores y parasitoides son más efectivos en los hábitats complejos. Los insectos benéficos tienen mayores posibilidades de encontrar presas alternativas, abrigo, sitios para reproducción y refugios para la dormancia (Morales y Betancort, 2012). Sin embargo, muchas de sus bondades son desconocidas por los ganaderos y por los técnicos, promoviéndose su eliminación de las praderas; de hecho, en las explotaciones ganaderas donde se hace un uso indiscriminado de herbicidas, estos constituyen una amenaza mayor para las especies de los pastizales (Canizales *et al.*, 2010).

2.3.4.1. El conocimiento del período crítico de competencia interespecífica maíz-arvenses.

La problemática de las arvenses va más allá de su combate, porque no todos los agricultores conocen el período crítico de competencia entre estas y los cultivos económicos, realizando labores de control, en ocasiones en que las arvenses no constituyen limitantes del rendimiento y de esta manera, aumentan los costos de producción y gastos energéticos innecesarios.

Estudios realizados en diferentes países muestran que el período crítico de competencia entre el maíz y las arvenses se encuentra entre los 28 a 45 días después de su germinación (Dauns, 2005; Labrada, 2006) este tiempo es variable, dependiendo de factores como las condiciones climáticas, la variedad, el tipo de vegetación local, entre otros. Labores de manejo de arvenses antes o después de este período, generalmente solo contribuyen a un mayor gasto energético durante el proceso productivo (Rico, 2013); de ahí que resulta de vital importancia, antes de iniciar cualquier investigación y establecer los métodos de manejo, determinar el período crítico de competencia entre las arvenses y el cultivo económico.

Según Duarte *et al.* (2002), en estudio de competencia interespecífica con el cultivo del maíz, comprobaron que las arvenses redujeron la producción en 51,4 %. Estos autores afirman que las arvenses que emergieron después de los 42 días de la germinación del maíz, afectan en la productividad del cultivo y que el período crítico de competencia persistió por 60 días a partir de la emergencia.

En la mayoría de las regiones de Angola, la eliminación de arvenses se hace por medio de productos químicos (herbicidas) o por medio del método mecánico, a través de la guataca o la tracción animal y, por desconocimiento del período crítico de competencia de las variedades cultivadas en relación con las arvenses, tales métodos son usados de manera muy intensiva, pues los productores mantienen la idea de mantener el campo limpio durante todo el ciclo, lo que determina en la sostenibilidad de su producción al momento de hacer la relación entre costos de producción y sus ganancias.

2.3.4.2. Los métodos de manejo de arvenses.

Las técnicas de contrarrestar el efecto de las arvenses comprenden la prevención, la erradicación y el control; dentro de este último existen las opciones mecánicas, químicas y biológicas, donde el control biológico clásico ha sido ampliamente utilizado para combatir especies introducidas (Monge *et al.*, 2012).

Los cultivares más adaptados a regiones capaces de presentar resistencia o tolerancia a las principales plagas predominantes se desarrollan más rápidamente y cubren el suelo de manera más intensa, controlan mejor las arvenses y sufren menos la interferencia que surja (Galon *et al.*, 2008; Silva *et al.*, 2009).

Según Pohlan (1995), el uso de la rotación de cultivos, combinado con cultivos acompañantes, reduce las poblaciones de arvenses, propiciando un buen desarrollo de las plantas e incremento de los rendimientos.

La búsqueda de alternativas que disminuyan los costos, manteniendo o mejorando la eficiencia del control de las arvenses, está directamente relacionada con un sistema integrado de prácticas agrícolas. El manejo integrado debe ser utilizado con el objetivo de racionalizar el uso de los herbicidas y de los costos de producción (Duarte *et al.*, 2002; Salazar, 2003).

2.3.4.2.1. Método químico de manejo de arvenses.

El método de control químico de las arvenses consiste en la utilización de herbicidas, ya sean pre o post emergentes. Su selección debe ser basada en las especies de arvenses presentes en el área a ser tratada (Gelmini *et al.*, 2005 ACMG, 2010b), aunque la mayoría de las tecnologías de corto plazo se centran en la disminución del uso de herbicidas (Acciaresi y Sarandón, 2005).

En la aplicación se deben verificar las condiciones climáticas (temperatura y humedad relativa del aire, el viento y la posibilidad de lluvia), así como las condiciones del suelo o de las plantas. Para los herbicidas pre-emergentes (contacto o sistémicos) se debe verificar las condiciones de humedad del suelo. El período entre la aplicación del herbicida y la siembra varía en función de

las características de este, de la dosis utilizada, de la cobertura vegetal precedente; además, de la textura del suelo y de las condiciones ambientales (Altieri *et al.*, 2007). El número de los tratamientos y la superficie tratada, estarán en función de la situación particular de cada agricultor y de la presión de las arvenses. Esta tecnología se complementa con el control mecánico, alternativa viable bajo determinadas condiciones en los sistemas de producción (Buhler, 2005).

Las aplicaciones en post-emergencia son normalmente hechas con herbicidas pertenecientes a los grupos de las amidas y triazinas (ametrina, atrazina, cianazina y simazina) utilizados en el cultivo del maíz, sobre todo para el control de arvenses dicotiledóneas. En plantas sensibles a esos herbicidas, pueden germinar las semillas, pero, cuando las plantas emergen y reciben luz se desencadenan reacciones que afectan la fotosíntesis y pueden llevar a la muerte de las plantas (Labrada *et al.*, 1996).

Según Alemán (2004), los herbicidas del grupo amidas con sus nombres técnicos y comerciales (acetochlor, alachlor-alachlorNortox, dimethenamida y s-metolachlor-Dual Gold), poseen mecanismos de acción asociados a la inhibición de la parte aérea de las plantas. Estos son absorbidos durante el proceso germinativo de las semillas de las arvenses, interfieren en diversos procesos bioquímicos de la planta e inhiben la división celular. La síntesis de los lípidos, los ácidos grasos, las ceras de las hojas, los terpenos, los flavonoides y las proteínas, también interfirieron en la regulación hormonal.

Es importante verificar la persistencia en el suelo de los herbicidas utilizados en los cultivos antecedentes, los que podrían tornarse fitotóxicos para el siguiente cultivo. Al escoger un herbicida, se debe considerar el intervalo de seguridad mínima entre la aplicación y la cosecha para evitar el estrés al cultivo (Andreasen, 2012).

2.3.4.2.2. Método mecánico de manejo de arvenses.

El método mecánico para el manejo de las arvenses consiste en crear un nicho adecuado para el establecimiento del cultivo económico, lo que se logra con la inversión del prisma del suelo,

muchas semillas depositadas en la superficie son enterradas y en su mayoría mueren (Pitelli y Durigan, 1984); sin embargo, esa práctica provoca afectaciones en la bioestructura del suelo, razones por las cuales Primavesi (1990) recomienda el uso del tiller, que realiza la misma función pero no invierte el prisma. En las labores mecánicas como método de manejo de las arvenses, los implementos a utilizar juegan un papel decisivo en la eficiencia de la labor (Forsthofer, 2006).

Domínguez *et al.* (2005) aseguran que el uso de la grada como implemento de manejo en los suelos tropicales, lejos de solucionar problemas agrarios, ha provocado incrementos en el deterioro de su estructura, lo que se atribuye a que ese tipo de implemento está diseñado para países fríos, donde es necesario invertir el prisma del suelo para lograr aumentar su temperatura y poder utilizarlo durante la primavera, algo que no ocurre en el trópico.

Según Bertolí (1985) y León y Ravelo (2010), el uso del tiller es muy eficiente para mantener poblaciones de arvenses por debajo del umbral económico y, sobre todo, por su eficiencia en el cambio estructural de la composición de la fitocenosis de las arvenses, cuando estas son estoloníferas, que mueren al ser llevadas a la superficie del suelo, a diferencia de la grada que las multiplica triturándolas y enterrándolas nuevamente.

Los agricultores con escasos recursos hacen uso de la azada o machete, mientras los más avanzados utilizan la tracción animal, a los que se le debe recomendar la utilización de implementos multipropósitos que se basen en los principios del tiller (Diehl *et al.*, 1982).

2.3.4.2.3. Métodos culturales de manejo de arvenses.

El método cultural de manejo de arvenses es normalmente utilizado por los agricultores, sin que estos tengan la noción de estar utilizando este tipo de técnica; consiste en la utilización óptima del espacio en el tiempo, sin provocar daños a las propiedades del suelo.

Entre las medidas culturales se encuentran el uso de especies de ciclo corto adaptadas a la región, el espaciamiento óptimo, la densidad de siembra y la época de siembra adecuada, el uso de

cobertura viva o muerta, la rotación de cultivos, la fertilización adecuada, los precedentes culturales y los cultivos asociados (Aleman, 2004).

El manejo manual o control físico, es un método ampliamente utilizado entre agricultores que cuentan con pequeñas propiedades. Generalmente, los productores utilizan de dos a tres limpiezas con guataca durante los primeros 40 a 50 días de la preparación del suelo, pero cuando utilizan otro cultivo que cubre el espacio agrícola del cultivo con ciclo superior o de menor competitividad, disminuyen las arvenses, creando las condiciones favorables para el crecimiento y desarrollo del cultivo principal del sistema policultural (Silva *et al.*, 2007; Nicholls y Altieri, 2008). Sin embargo, ese método de manejo demanda gran cantidad de mano de obra, dado que la productividad de esa operación es de aproximadamente ocho hombres días ha⁻¹ (Almeida, 1991).

El uso del cultivador, acoplado a tractores o animales, es frecuente y debe ser utilizado para el manejo de las arvenses, preferiblemente en los primeros días después de la emergencia del cultivo, antes de que se inicie el período crítico de competencia (Espinoza, 2002).

Las medidas biológicas de control se pueden ver en dos direcciones: a través del propio cultivo, que impone cierta interferencia a las comunidades de arvenses limitando su poder de crecimiento y desarrollo; a través de enemigos naturales que parasitan las arvenses (insectos, hongos, bacterias, ácaros u otros) limitando su crecimiento y desarrollo (Pitelli y Durigan, 1984).

2.3.2.2.4. Método integrado de manejo de arvenses.

El manejo integrado de arvenses está concebido y dirigido para ser económicamente viable, así como ambiental y socialmente aceptable (Acciaresi y Sarandón, 2005).

Para un control eficiente de las plantas dañinas en el cultivo de maíz, se debe utilizar prácticas integradas que incluyan la utilización de rotación de cultivos (Espinoza, 2012). Autores como Delgado *et al.* (2007); Júnior y Coelho (2010), recomiendan la alternancia de métodos y el empleo de herbicidas para una acción más eficiente.

A través de la alternancia de cultivo, a diferencia del cultivo continuo, según Delgado *et al.* (2003) se propician modificaciones de la intensidad de la competencia y de los posibles efectos alelopáticos, disminuyendo la instalación de una comunidad patrón de arvenses menos agresivas. Otra posibilidad asociada a proporcionar estímulos para el crecimiento, desarrollo y manejo de arvenses y plagas a nivel de agroecosistema, la constituye el barbecho (Espinoza, 2002; Espinoza y Malpica, 2006), el cual juega un rol dentro del manejo, pero a más largo plazo, rompiendo la dominancia en busca del equilibrio.

La diversidad en los sistemas rotacionales, puede asegurar condiciones de disponibilidad de nutrientes y ventajas comparativas. La secuencia de cultivos, sustituye el concepto que implica la siembra repetida de un mismo cultivo a intervalos periódicos, ya que permite un mejor uso de los nutrientes, la mejora de la estructura de los suelos (siembra de cultivos con raíces profundas, con otros de raíces superficiales), favorece la conservación y la eficiencia del uso del agua, especialmente cuando se alternan períodos sin cultivos (barbechos), para favorecer el equilibrio del suelo (León y Ravelo, 2010).

2.4. Las alternativas agroecológicas para el manejo de los agroecosistemas y sus ventajas.

La agricultura ecológica proporciona las estrategias más consistentes para la implementación de sistemas de manejo más eficientes (Casado y Hernández, 2012), es además, la aplicación de conceptos y principios ecológicos al diseño y manejo de agroecosistemas sostenibles e implica la realización de prácticas agrícolas sustentadas en el conocimiento técnico y científico de los procesos ecológicos y agronómicos que ocurren para el beneficio social (Caporal *et al.*, 2006 y Sicard, 2009). Se centra no solamente en la producción de los cultivos, sino en la sostenibilidad ecológica, económica y sociocultural de los sistemas de producción y se trata de una ciencia basada en principios y no en tecnologías (Altieri *et al.*, 2012).

Según Alacannabis-Asociación (2009), la agricultura ecológica es una filosofía nueva de hacer agricultura, basada en la utilización óptima de los recursos naturales, sin emplear productos

químicos de síntesis u organismos genéticamente modificados, logrando obtener alimentos sanos, a la vez que se conserva la fertilidad del suelo y se respeta el medio ambiente de manera sostenible y equilibrada. Sus principales objetivos son trabajar con ecosistemas de forma integrada; mantener y mejorar la fertilidad de los suelos; producir alimentos libres de residuos químicos; utilizar el mayor número de recursos renovables y locales; mantener la diversidad genética del sistema y de su entorno; evitar la contaminación resultante de las técnicas agrarias; permitir que los agricultores realicen su trabajo de forma saludable.

Las alternativas agroecológicas constituyen opciones más sostenibles hacia la sustitución de tecnologías agrarias convencionales. Estas deben centrarse en el uso eficiente de los recursos locales, con el objetivo de mejorar el funcionamiento de los agroecosistemas y garantizar la productividad económica y la sostenibilidad ecológica del sistema (Funes, 2007; Montoya, 2013).

Los principios más conocidos están ligados al reciclaje, la resiliencia y conservación de los recursos genéticos y dentro de esta última, las técnicas más utilizadas tienen que ver con las alternativas nutricionales, las utilizadas para el control de plagas, los abonos verdes, las plantas repelentes y de manejo de cultivos o las técnicas de cultivos múltiples, que constituyen una de las alternativas agroecológicas más eficaces a escala de agroecosistema (Vandermeer, 2010).

2.4.1. Los precedentes culturales como alternativa de manejo de arvenses.

Para un manejo eficiente de arvenses en el cultivo de maíz se deben utilizar prácticas conjugadas e integradas que incluyan la rotación de los cultivos. Este método interrumpe la especificidad de una población de arvenses a un determinado cultivo, previniendo el surgimiento de altas poblaciones de especies más adaptadas a ciertos cultivos. Además, la rotación propicia alternancia de métodos y herbicidas usados en su control (Delgado y Frías, 2003; Júnior y Coelho, 2010).

En su investigación Inzunza (2011) encontró que la compatibilidad de diferentes cultivos, tanto en la rotación como en asociación, está dada por factores como necesidades fisiológicas de luz, agua y nutrientes, sus efectos sobre las características o recursos del suelo y también por las secreciones

que producen y que pueden inhibir el desarrollo de otras plantas que se cultiven conjuntamente, o inclusive se producen inhibiciones de ciertos cultivos sobre ellos, aunque sean sembrados en la misma área de forma continua, como es el caso del frijol y la avena.

Son innumerables las ventajas proporcionadas por la rotación de cultivos, al aportar producciones diversificadas de alimentos y otros productos agrícolas, al ser adoptadas y conducidas de forma adecuada y por un período largo, garantizando seguridad productiva y planificación. Esa práctica mejora las características físicas, químicas y biológicas del suelo; es auxiliadora en el manejo de arvenses, enfermedades y plagas; repone el contenido de materia orgánica y protege el suelo de la acción de los agentes climáticos (EMBRAPA, 2007; Sánchez *et al.*, 2012).

Franchini *et al.* (2008) afirmaron que la rotación de cultivos posibilita la combinación o alternancia de plantas con diferentes exigencias nutricionales y habilidades en la absorción de nutrientes; así, nutrientes que no son absorbidos por una determinada planta, sea por su localización en capas debajo de la zona de acción del sistema radicular o por la baja eficiencia de absorción, pueden ser aprovechados por otras especies vegetales a partir de la descomposición de la paja para que se tornen disponibles a las plantas.

En el caso del maíz, que es esquilante del suelo, puede ser intercalado con cultivos mejoradores, como maíz-soya, maíz-frijol, maíz-mucuna (Gliessman, 2003; Gliessman *et al.*, 2007). Según Pinto *et al.* (2007) la diversificación de especies en la rotación de cultivos también aumenta la diversidad de la comunidad microbiana. El monocultivo tiende a seleccionar determinadas especies de microorganismos en detrimento de otras, lo que es indeseable para la sustentabilidad de los sistemas de producción.

Según Osterroht (2002), el manejo del suelo con cobertura verde o muerta conserva mejor la humedad del suelo, intensificando la actividad biológica, al mismo tiempo en que aumenta la disponibilidad de diversos nutrientes, como el nitrógeno y el potasio, que necesitan de humedad suficiente para estar disponibles. Las raíces del tipo pivotante, promueven gran reciclaje de

nutrientes, exploran un gran volumen de suelo y buscan sales minerales en profundidades no alcanzadas por las raíces de otros cultivos, aprovechan muy bien la fertilización residual del cultivo anterior y proporcionan considerable cantidad de materia orgánica al final del ciclo.

Para estos fines se han utilizado varios cultivos, siendo el girasol el que ha proporcionado aumento de los rendimientos en los cultivos posteriores. Se estima que estos aumentos son de 15 a 20 % para maíz y de 10 a 15 % para soya; para que el girasol haga uso de todo este potencial del sistema radicular, es necesario que el suelo esté bien preparado, eliminando posibles capas de impedimento físico y corrigiendo el pH, en caso que esté por debajo de 5,2, elevando el índice de saturación de base a un 70 % (Da Silva *et al.*, 2009; Toro, 2013).

En el caso de la sucesión, tiende a beneficiar los dos cultivos, como es el caso de maíz-girasol (Uzma *et al.*, 2012; Escobar *et al.*, 2013), donde puede haber una disminución en la incidencia de plagas, debido al efecto alelopático del girasol, disminución de enfermedades y mejora de las condiciones físicas del suelo para ambas, pudiendo haber un incremento de la productividad del maíz hasta un 30 %, y también en el caso de soya-girasol, que puede haber aumento hasta un 15 % de la productividad de los dos cultivos (Angelini *et al.*, 2000).

La ventaja sobre el control de arvenses que ejercen los policultivos, se debe a que son más eficaces en usurpar los recursos de las arvenses o suprimir el crecimiento de estas por la alelopatía (Ferreira y Aquila, 2000; Bad, 2011; García, 2013; Calderón, 2014). La compatibilidad de diferentes cultivos, tanto en la rotación como en los policultivos, está dada por diferentes factores como necesidades fisiológicas, sus efectos sobre las características o recursos del suelo y por las secreciones que estas producen (Macías *et al.*, 2000, 2003; Inzuma, 2011).

2.4.2. Las asociaciones de cultivo como alternativa para el manejo de arvenses.

Las asociaciones de cultivos son alternativas efectivas de bajo costo para aumentar la productividad de las siembras o plantaciones, con beneficio mutuo, reduciendo las necesidades de labranza y el uso de maquinaria, evitando así la compactación del suelo. El término plantas

acompañantes se refiere al uso de las plantas que se encuentran en combinación exitosa con otras, para proporcionarse un beneficio mutuo (ACMG, 2010a); ambas definiciones responden al mismo interés económico.

Los tipos de asociación de cultivos pueden ser mezclados, intercalados y en franjas. Estas mejoran la fertilidad (intercambio de nutrientes más estables) y la bioestructura del suelo, añaden materia orgánica continuamente y el gasto de energía es menor en ese sistema de producción (Portalcc.agro, 2003; Caycedo, 2013). Por otra parte, en la asociación de cultivos se combinan las plantas por su color y su olor. Las demandas en materia orgánica de las asociaciones no sólo sirven para nutrir las plantas, sino también para disminuir la presencia de parásitos y mejorar la fertilidad de los suelos (Aldunate, 2002).

Las asociaciones compatibles se protegen mutuamente del ataque de parásitos, mientras las desfavorables resultan perjudiciales para una de ellas o incluso para ambas. Sin embargo, una asociación puede ser muy buena en una zona, pero no tener ningún interés en otra. Sería conveniente descubrir nuevas asociaciones de mayores espectros locales (Zamora *et al.*, 2006).

Las asociaciones de cultivos se caracterizan por mayor estabilidad de la producción y menor riesgo de pérdidas totales; actúan como freno o barrera contra los patógenos y un mayor aprovechamiento de los recursos disponibles (Nicholls y Altieri, 2012).

La producción de dos o más cultivos en la misma superficie de suelo durante el mismo año, constituyen sistemas que hacen un uso eficiente de los factores de crecimiento (luz, agua y nutrientes), así como del espacio y el tiempo disponibles, para intensificar la producción agrícola (Dietrich, 1983). La facilitación depende de la arquitectura de las plantas y de la capacidad que estas tengan de ocupar más o menos rápido su espacio agrícola. Su éxito dependerá de numerosos factores, la mayoría de los cuales están determinados por los conocimientos y habilidades que tenga el productor a la hora de hacer combinaciones de cultivos (Vandermeer, 2010; Vandermeer y Yitbarek, 2012). El uso de cultivos de cobertura intenta

disminuir la presencia de arvenses y puede ser usado en siembra o como cobertura muerta sobre el suelo para interferir en la emergencia de las arvenses, previo a la siembra del cultivo de interés económico (Acciaresi y Sarandón, 2005).

2.5. Consideraciones finales.

El manejo de arvenses a escala de agroecosistemas en Huambo, Angola, está en una encrucijada; por un lado existe una agricultura monocultural industrializada, divorciada de los métodos tradicionales, con escasa probabilidad de prescindir de los herbicidas y, por otro lado, la cultura de los herbicidas se ha extendido entre los pequeños y medios productores que sufren los efectos de su uso indiscriminado, lo que ha sido expresado con la presencia casi absoluta de especies de arvenses muy resistentes en los campos productivos, donde el maíz (*Zea mays* L.) ha prevalecido en siembras monoproduktivas en convivencia con especies monocotiledóneas muy agresivas como *Sorghum halepense* (L.) Pers, *Cyperus rotundus* L., *Rottboellia exaltata* L., *Cynodon dactylon* (L.) Pers., como consecuencia del uso exagerado de herbicidas derivados de la urea y de las triazinas simétricas (Leyva *et al.*, 1982; Fernández *et al.* 2002).

Las innovaciones tecnológicas convencionales incrementan la producción agrícola, pero deterioran los recursos naturales, ocasionalmente irreversibles. El conocimiento de los períodos críticos de competencia, permite establecer una perfecta sincronía de manejo entre el cultivo y las arvenses. La combinación de métodos policulturales con base en la agroecología y el empleo moderado de técnicas de la Agricultura Moderna, son necesidades actuales para lograr eficiencia productiva en los sistemas donde el maíz constituye el cultivo principal, hacia una tecnología más armónica con el medio ambiente.

La existencia en la localidad de arreglos espaciales vulnerables a la proliferación de arvenses durante el crecimiento y el desarrollo del maíz, sugiere incrementar las densidades de siembra en este cultivo, para facilitar la ocupación de su espacio agrícola en menor tiempo, previo al período crítico de competencia.

III.

MATERIALES

Y

MÉTODOS

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación y condiciones edafoclimáticas.

La investigación se llevó a cabo en la provincia de Huambo, capital del Planalto Central de Angola, ubicada en la región Centro-Oeste del país. Limita al nordeste y al este con la provincia de Bié, al sur con la provincia de Huila, al oeste con la provincia de Benguela y al noroeste con la provincia de Kwanza Sul (Diniz, 2006). Cuenta con una superficie de 35 771,15 km², con una población de 1 896 147 habitantes y una densidad poblacional de 56,4 por km² (INE, 2014) equivalente al 7,8 % de la población total (MAT, 2006, 2013).

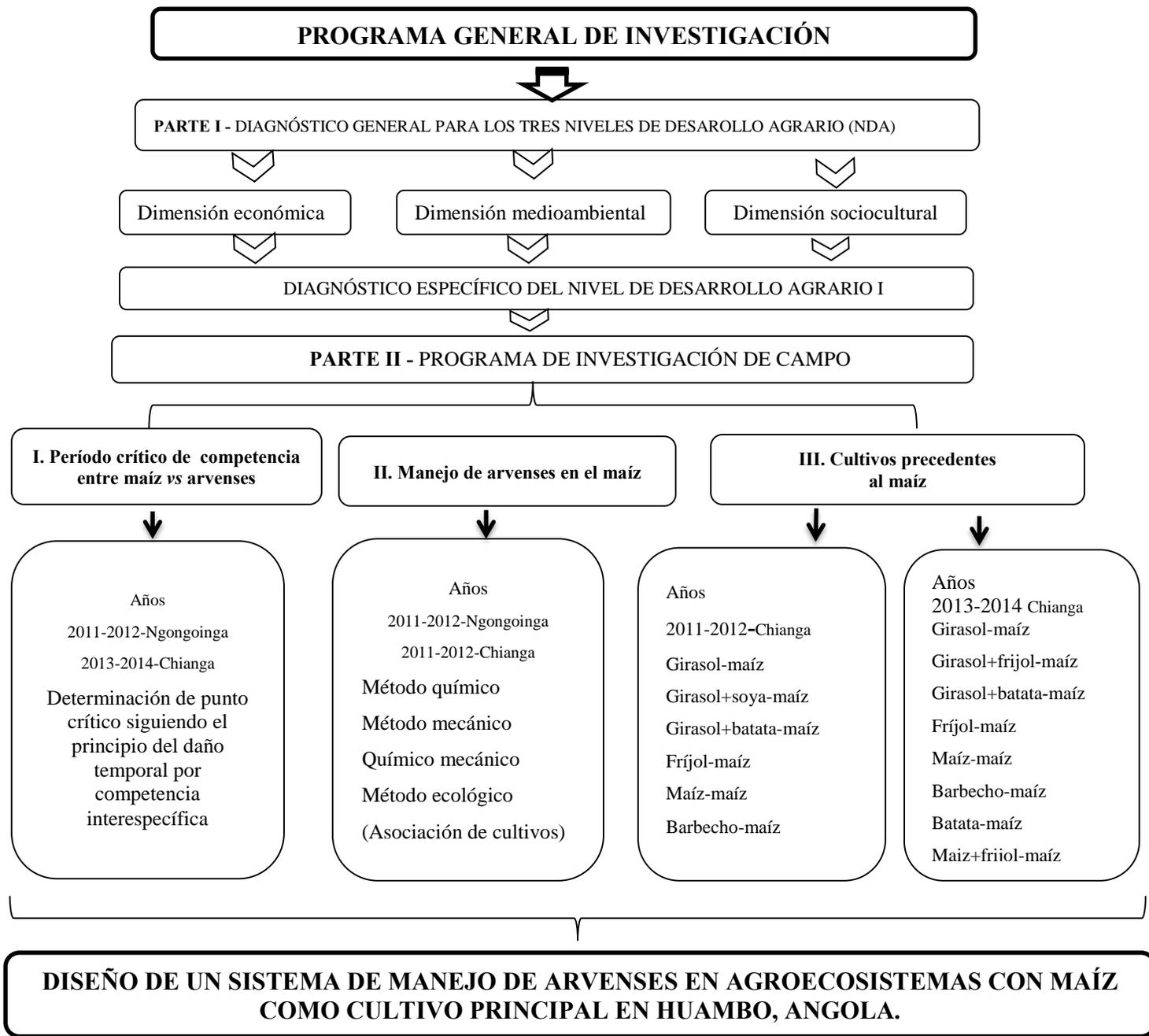
Administrativamente está constituida por 11 municipios y 37 comunas, se estima que se utilizan cerca de 654 928 ha en cultivos de ciclo corto, para un total de 436 619 familias, aproximadamente 1,5 ha de tierras cultivadas para cada una (FAO, 2006a; FAO, 2010a).

Huambo posee una altitud máxima de 2 500 m s. n. m., un período lluvioso que se extiende entre los meses de septiembre a marzo y alcanza un volumen anual que fluctúa entre 1 500 y 2 000 mm, las mayores ocurren en los meses de noviembre y diciembre. Las temperaturas mínimas oscilan entre 11 y 13 °C, mientras que las máximas alcanzan valores hasta 27 °C. Los suelos predominantes son los Ferralíticos Rojos Lixiviados (Soil Survey Staff, 2010) con baja productividad, baja retención de agua y bajos contenidos de materia orgánica (Diniz, 2006; PAM, 2005).

3.2. Esquema de la investigación.

La investigación se llevó a cabo en dos etapas, según el método empleado por Toledo (2008) (Esquema 1).

La primera etapa consistió en un diagnóstico general que permitió conocer la situación de la agricultura en Huambo, mediante la revisión de la información escrita, encuestas abiertas, entrevistas y el intercambio con decisores, facilitadores y productores locales.



Esquema 1. Esquema de la metodología de investigación.

Se determinó el Índice General de Sostenibilidad (IGS) propuesto por Zinck *et al.* (2005), según los Niveles de Desarrollo Agrario de los Agroecosistemas (NDAI, NDAII y NDAIII), pre determinado por los decisores de la agricultura en Huambo, equivalente a los Dominios de Recomendaciones (DRI, DRII y DRIII) que propuso CIMMYT (1988) y el grado de acercamiento a la sostenibilidad desde el análisis de sus tres principales dimensiones (económica, sociocultural y medioambiental). En particular se evaluó el estado del arte de la producción de maíz, cultivo básico de la alimentación de esta provincia, para lo cual se determinó su IGS.

Considerando que no hay sistemas agrarios iguales y que tampoco existen dos agricultores cuyas circunstancias sean idénticas (Sarandón, 2005), se realizó un diagnóstico específico en el Nivel de Desarrollo Agrario que aplican la agricultura de bajos insumos (NDAI), con el objetivo de determinar las diferencias entre ellos, a través de la determinación de los componentes principales y el agrupamiento por el Modelo Estadístico de Medición de Impacto (MEMI), según Torres *et al.* (2010, 2013).

Los principales problemas visualizados durante el diagnóstico fueron comprobados en dos talleres participativos realizados en las dos localidades, donde se llevó a cabo la investigación (Tablas 1 y 2) y se seleccionaron los de mayor importancia en la limitación de la sostenibilidad de la producción de maíz, teniendo en consideración la puntuación dada (1-3) por los participantes en una valoración de poco, moderado y de mayor incidencia, según Geilfus (2000).

Estos sirvieron de base para conocer el nivel de importancia dado por los agricultores al problema propuesto para ser investigado como segunda etapa del programa referido al manejo de arvenses, que a su vez, consideró tres líneas de investigación: (i) el período crítico de competencia arvenses-maíz; (ii) los métodos de manejo de arvenses más eficientes; (iii) los precedentes culturales y sus posibles efectos por interferencia, de algunos cultivos precedentes al maíz, como cultivo sucesor del sistema.

Tabla 1. Participantes en los talleres realizados en las localidades de Ngongoinga y Chianga, para definir los principales problemas que limitan la producción de maíz en Huambo, Angola (año 2011).

| Participantes (Total) | Hombres | Mujeres | Jóvenes | Mayores de 60 años | Decisores | Total general |
|---|-----------|-----------|-----------|--------------------|-----------|---------------|
| Ngongoinga | 20 | 12 | 25 | 18 | 5 | 81 |
| Chianga | 16 | 10 | 21 | 10 | 5 | 61 |
| Total | 36 | 22 | 46 | 28 | 10 | 142 |
| Promedio | 18 | 11 | 23 | 14 | 5 | 71 |
| Participaron del taller autoridades tradicionales de las localidades (Sobas) y funcionarios de la dirección del Ministerio de la agricultura en Huambo. | | | | | | |

Tabla 2. Principales problemas visualizados durante el diagnóstico

| Orden de importancia | Característica del problema | Rango de Puntuación | | |
|----------------------|--|---------------------|----|----|
| | | 1 | 2 | 3 |
| 1 | Incidencia de arvenses de difícil manejo | 3 | 10 | 58 |
| 2 | Elevado costo de producción de los insumos agrícolas | 5 | 20 | 46 |
| 3 | Desconocimientos sobre los daños de los insumos químicos | 3 | 28 | 40 |
| 4 | Bajos precios de los productos agrícolas | 11 | 21 | 39 |
| 5 | Carencia de implementos de trabajo | 11 | 22 | 38 |
| 6 | Bajas densidades de siembra y por tanto bajos rendimientos | 9 | 26 | 36 |
| 7 | Ausencia total de sistema de riego | 26 | 15 | 30 |
| 8 | Predominio de variedades de ciclo largo | 51 | 12 | 8 |
| 9 | Dificultades en la adquisición de semillas de calidad | 40 | 25 | 6 |
| 10 | Desconocimientos de los principios agroecológicos | 66 | 1 | 4 |

- Escala de valores de 1 a 3 por orden de importancia
- ✓ Valor 1: representa un problema de menor incidencia
- ✓ Valor 2: representa un problema incidencia intermedia
- ✓ Valor 3: representa un problema de mayor incidencia

El programa de investigación de campo se condujo en dos áreas experimentales, una perteneciente al Instituto de Investigación Agronómica de Chianga y la otra a la Facultad de Ciencias Agrarias (Ngongoinga) de Huambo, cuya diferencia principal estuvo relacionada con el manejo del suelo, en cuanto a la utilización continuada de herbicidas durante muchos años y la práctica de monocultivo (Ngongoinga) frente a un manejo de arvenses donde se utiliza mayor diversidad de cultivos (Chianga).

3.2.1. Estudio de aspectos socioculturales. Descripción del diagnóstico general y específico.

El diagnóstico general se realizó en correspondencia con la propuesta de Schonhuth y Kievelitz (1994) del Diagnóstico Rural Rápido Participativo (DRP).

Teniendo en cuenta la existencia de la poca variabilidad en la población y la similitud en la composición de la familia en cuanto a nivel sociocultural y desarrollo tecnológico, se tomó una muestra de la población, representada en una cifra de 2 100 familias, equivalente al 10 % del personal vinculado directamente a la producción de maíz en el territorio de la zona de estudio, cifra que para estas condiciones se puede considerar adecuada, según Caballero (2008). La información registrada incluyó la revisión escrita y valoraciones hechas por los decisores de siete de los once municipios de la provincia de Huambo y los datos emanados de las preguntas formuladas en el cuestionario pre elaborado, según Leyva *et al.* (1999) (Anexo I).

Dentro del personal encuestado, se tuvo especial cuidado de incorporar, de forma equilibrada, a decisores y facilitadores, mujeres y hombres, jóvenes y personas de la tercera edad, vinculados al sector agrario, cuya distribución por niveles de desarrollo agrario se hizo de la siguiente manera:

- NDAI: se seleccionaron dos comunidades; una aledaña a la superficie experimental en el sector de Ngongoinga “Aldea de Babayera” y la otra en la “Aldea 27”, limítrofe con la superficie experimental de Chianga en el Instituto de Investigación Agronómica (IIA).
- NDAII: se realizó en las fincas “Tchissola y Almeida, ubicadas a 25 y 280 km de la sede provincial respectivamente.

- NDAIII: se seleccionó la finca de referencia “Akadumbo” donde se aplican los últimos adelantos de la llamada agricultura moderna y situada a 250 km del municipio sede.

El acercamiento a la sostenibilidad de la producción agraria, tanto del territorio (índice general), como el referido a la producción de maíz (índice específico), se llevó a cabo a través de la determinación del Índice General de Sostenibilidad (IGS) según Zinck *et al.* (2005), dado por la relación entre los valores reales y los deseados de cada indicador, por el número de indicadores según se muestra en la fórmula: $IGS = \frac{\sum_1^n (VI)}{VMI * N}$ donde: VI es el valor del indicador, VMI es el valor máximo de un indicador y N es el número de indicadores. Los indicadores y sus variables fueron agrupados por dimensiones para poder definir el nivel de equilibrio entre ellas y hacer recomendaciones pertinentes.

Los indicadores asumidos fueron seleccionados participativamente, teniendo en cuenta las condiciones reales de cada localidad, los problemas existentes y su relación con la información internacional acerca de sus características fundamentales, así como la referencia bibliográfica revisada en investigaciones precedentes realizadas con similares objetivos (Masera *et al.*, 2000; Sarandón, 2005; Lores, 2009). Cada indicador estuvo determinado por un número importante de variables, lo que le proporcionó mayor robustez, una de sus condiciones indispensables (Deponti *et al.*, 2002; Cruz, 2014). El valor de cada variable (VV) se determinó a partir del valor de sus componentes y nivel de aceptación (en una escala de 1 a 3), donde 1 representa la menor aceptación y 3 el valor de máxima aceptación.

Para la determinación del Índice General de Sostenibilidad del territorio, se hizo una selección de los principales problemas observados y se asumieron 12 indicadores con 50 variables (Anexo II), que dieron respuesta al estado de cada una de las tres principales dimensiones de la sostenibilidad (económica, sociocultural y medioambiental), según FAO (2004).

La determinación del IGS de la producción de maíz e influencia en la calidad de la vida rural, se obtuvo de las encuestas realizadas para el análisis y selección de los indicadores de la actividad

agraria y contempló preguntas que reflejan el estado de las tres dimensiones de la sostenibilidad, así como su accionar entre los productores y sus familias. Se asumieron 10 indicadores con 22 variables (Anexo III). La puntuación recibida en las variables seleccionadas fue llevada a una tabla de valores ponderados de 0 a 10, según Lores (2009), donde 10 representa el valor ideal de la variable y cero el menos deseado (Anexo IV); lo que está dado por la relación del valor real entre el valor deseado. Finalmente el valor de indicador se obtuvo por la relación de la sumatoria de los valores totales de las variables entre el número de estas.

Para la presentación de estos resultados se utilizó la técnica gráfica mediante el método AMIBA, el cual muestra de forma comparativa la tendencia hacia la sostenibilidad de los sistemas estudiados (North y Hewes, 2006).

Para el diagnóstico específico correspondiente al NDAI, se seleccionaron variables cuantitativas y cualitativas (Anexo V). En las cuantitativas se aplicó, primeramente, el Modelo Estadístico de Medición de Impacto (MEMI) y se determinaron los estadígrafos descriptivos, según Torres *et al.* (2010, 2013). Para la selección de componentes principales a tres modos se utilizó el paquete estadístico MATLAB (1995), según Varela (2002). Para los pesos de las variables en cada componente, fueron seleccionados valores mayores a 0,69. El análisis de conglomerados utilizado fue el jerárquico, a la distancia euclidiana al cuadrado (Miranda y Torres 1998; Usai *et al.*, 2008; Hair *et al.*, 2008; Carmona y Nahuelhual, 2009; La O, 2013). Se hizo una representación gráfica para valorar el cambio que experimentaron las diferentes fincas dentro de un mismo nivel de desarrollo agrario.

El análisis de las variables cualitativas se hizo por medio de las tablas de frecuencia a través de la dócima de chi-cuadrado y se compararon estadísticamente los resultados, utilizando el paquete estadístico SPSS, versión 19.0 (2010).

3.2.2. Estudio de aspectos tecnológicos. Descripción de la fase experimental de campo

3.2.2.1. Características generales de la localidad de Chianga.

El Instituto de Investigación Agronómica de Chianga, está ubicado en la provincia de Huambo, con un área aproximada de 2 550 ha, situado a 13 km de la ciudad de Huambo, su superficie está ubicada entre los paralelos 12° 14' y 12° 16' de latitud sur y meridianos 15° 48' y 15° 52' de longitud al este de Greenwich, con altitudes comprendidas entre 1 650-1 740 m s. n. m. El suelo pertenece al grupo de los Ferralíticos Rojos (MAT, 2006).

Las temperaturas máximas varían entre 25 y 27 °C, siendo el período más caliente entre los meses de septiembre a octubre, coincidiendo con el inicio de la época de lluvia. Los meses más fríos son junio y julio con temperaturas de 11 a 13 °C y la humedad relativa fluctúa entre 60 y 70 % (Diniz, 2006).

Los datos meteorológicos fueron tomados de la Estación Experimental Agrícola de Chianga (Anexo VI). Los cultivos de mayor dominancia son maíz, frijol, batata, papa y hortalizas. La soya se considera un cultivo sin éxito productivo, mientras que del girasol no se tiene referencia sobre su siembra en la localidad.

3.2.2.2. Características generales de la localidad de Ngongoinga.

La localidad de Ngongoinga, está situada en la comuna de Kalima provincia de Huambo, que dista 11 km al sur de la ciudad sede, entre las coordenadas geográficas 12° 51' 585" de latitud sur y 15° 43' 822" de longitud este y una altura de 1 684 m s. n. m. (Diniz, 1991).

Según la clasificación de Thornthwaite la superficie está ubicada en un clima húmedo mesotérmico (B1, B2 y B3), cuyas características se enmarcan en la zona tropical de clima húmedo y seco, los datos de temperatura y humedad son similares a las de Chianga, con precipitaciones de 1 100 a 1 400 mm por año, los suelos predominantes son del tipo Ferralítico, con valores de pH bajos (5,28), textura arcillo-arenosa, profundos, con buen drenaje, pobres en materia orgánica y en nutrientes (Diniz, 2006).

Los datos meteorológicos fueron tomados de la Estación del INAMET-Aeropuerto Albano Machado-Huambo (Anexo VII), los cuales muestran períodos poco lluviosos entre los meses de octubre y noviembre y lluvioso entre diciembre, enero y febrero. Los cultivos anuales más comunes son el maíz, el frijol, la yuca, la batata y las hortalizas.

3.2.2.3. Análisis del suelo en las áreas experimentales.

Se realizó la descripción de los perfiles del suelo en Ngongoinga y Chianga y se tomaron las muestras extraídas con el uso de un perforador a 30 cm de profundidad, las que fueron analizadas en el laboratorio del Instituto de Investigación Agronómica de Chianga (IIA). Se determinaron las propiedades químicas (pH, P, Ca, Mg, Na, K); composición mecánica y textura (arena, limo y arcilla), así como el contenido de materia orgánica (MO), nutrientes y reservas del carbono. Los métodos utilizados fueron el azul de molibdeno por la técnica de Oniani (P asimilable); la fotometría de llama (Na, K) y MO, finalmente el de Versanato EDTA (Ca, Mg, Na). El análisis de pH se hizo por el método de potenciómetro, con una relación suelo:solución de 1:2,5. La composición mecánica y la textura fue por el método de Bouyoucos (Claessen *et al.*, 1997; Cuba. MINAG, 2000).

Las características principales de los suelos del área experimental de Ngongoinga (Anexo VIII) se presentan en las Tablas 3, 4 y 5 donde se refleja la composición mecánica y la textura del perfil, algunas propiedades físico químicas, así como los contenidos de materia orgánica, nutrientes y reservas del carbono del perfil del suelo.

Tabla 3. Composición mecánica y textura del perfil del suelo (capa 0-20 cm).

| Horizonte | Profundidad (cm) | Arena (%) | Limo (%) | Arcilla (%) | Textura |
|-----------|------------------|-----------|----------|-------------|-----------|
| Aag | 0-20 | 25 | 17,5 | 57,5 | Arcilloso |

Tabla 4. Propiedades físico químicas del perfil del suelo.

| Profundidad (cm) | pH H ₂ O | pH KCl | P asimilable (ppm) | Na ⁺ | K ⁺ |
|------------------|---------------------|--------|--------------------|-----------------|----------------|
| 0-20 | 6,0 | 4,6 | 3,96 | 0,23 | 0,33 |

Tabla 5. Materia orgánica, nutrientes y reservas del carbono del perfil del suelo.

| Profundidad (cm) | MO (%) | C (%) | P ₂ O ₅ asimilable (mg/100 g) | K ₂ O asimilable (mg/100 g) | Dv (kg dm ⁻³) | Reservas de C Mg ha ⁻¹ |
|------------------|--------|-------|---|--|---------------------------|-----------------------------------|
| 0-20 | 1,39 | 0,81 | 0,91 | 15,4 | 1,20 | 48,6 |

La descripción de los suelos de Chianga es representada en las Tablas 6 y 7, las que reflejan algunas características de la fertilidad del suelo y la composición mecánica y factor de dispersión del perfil.

Tabla 6. Algunas características de la fertilidad del suelo de Chianga.

| Profundidad (cm) | pH H ₂ O | pH KCl | Na K Cmol kg ⁻¹ | | P ₂ O ₅ asimilable (mg 100 g) | MO (%) | Textura |
|------------------|---------------------|--------|----------------------------|------|---|--------|------------------|
| 0-15 | 6,00 | 5,46 | 0,18 | 14,5 | 1,7 | 2,88 | Franco arcilloso |
| 15-30 | 5,88 | 4,96 | 0,68 | 13,8 | 1,9 | 2,45 | Franco |

Tabla 7. Composición mecánica y factor de dispersión del perfil.

| Profundidad (cm) | Arena (%) | Limo (%) | Arcilla (%) | Limo fino (%) | Arcilla fina (%) | Arcilla microagregados (%) | Factor dispersión |
|------------------|-----------|----------|-------------|---------------|------------------|----------------------------|-------------------|
| 0-15 | 37,5 | 34,5 | 28 | 8,64 | 62,25 | 12,39 | 19,15 |

3.2.3. Análisis de las arvenses en las localidades de Ngongoinga y Chianga.

Se realizó un levantamiento de las arvenses predominantes en cada localidad para conocer las especies totales existentes, su dominancia, abundancia y especies comunes en ambas localidades, para lo cual se utilizó el índice de similitud de Jaccard, que se expresa por la fórmula $I_j = c/a+b-c$, donde a: es el número de arvenses de una localidad, b: es el número de arvenses de la otra localidad y c: el número de arvenses comunes en las dos localidades (Moreno, 2001).

Se realizaron conteos de número de especies y superficie ocupada (porcentaje de cubrimiento) de dichas especies dentro de los cultivos (dominancia), según Pohlan (1995). Se determinó la riqueza total de especies dentro del sistema y la riqueza específica dentro de cada cultivo por tratamiento, según Braun Blanquet (1979) y Venegas (2004).

Se utilizó el modelo lineal generalizado mixto, con el procedimiento GLIMMIX presente en el SAS para las variables número de especie y porcentaje de cobertura. También se tuvo en cuenta la covariable réplica anidada dentro de los tratamientos para controlar la influencia de estos efectos. Se trabajó con la dística de rango fijo Tukey-Kramer 1956 para las variables analizadas.

3.2.4. Conducción del programa de experimentación en condiciones de campo.

Durante los años 2011 a 2014 se realizaron los siguientes experimentos en las localidades de Ngongoinga y Chianga.

- Determinación del período crítico de competencia maíz *vs* arvenses, dos experimentos (octubre de 2011 a abril de 2012 y octubre de 2013 a abril de 2014).
- Métodos de manejo de arvenses, dos experimentos (octubre de 2012 a abril de 2013, simultáneamente en las dos localidades).
- Precedentes culturales, dos experimentos (siembra de los precedentes, septiembre de 2011 a enero de 2012 y siembra de maíz, febrero de 2012 a junio de 2012; el otro experimento fue realizado en septiembre de 2013 a enero de 2014 y siembra de maíz, febrero de 2014 a junio de 2014).

3.2.4.1. Observaciones generales realizadas en los experimentos.

En todos los experimentos se realizaron observaciones en el cultivo de maíz durante su crecimiento y desarrollo, así como en el momento de la cosecha y en las arvenses antes y durante el crecimiento y el desarrollo del cultivo.

3.2.4.1.1. Evaluaciones generales en el cultivo de maíz.

Altura de la planta. Una población ascendente a 45 plantas por parcela, fue medida con una cinta métrica, desde el suelo hasta el último nudo aparecido en la parte aérea de la planta, según recomiendan Freitas *et al.* (2001) para este tipo de experimento.

Número de hojas por planta. Se contaron las hojas emitidas en cada observación. Las mediciones se realizaron cada siete días, en el experimento para la determinación del período crítico y cada 15 días en los demás experimentos.

Rendimiento (t ha⁻¹). Se calculó a partir de la masa de las mazorcas, con 12 % de humedad de los granos. Un total de 45 mazorcas por parcela, tomadas en cada marco fijo dentro del área del cálculo

1,67 × 0,60 m y fueron pesadas en balanza de precisión lo que permitió calcular la producción de granos expresada en t ha⁻¹.

3.2.4.1.2. Evaluaciones generales en las arvenses.

Número de especies: se registraron todas las especies presentes dentro de los marcos prefijados.

Número de especies dominantes: se registraron en base a las especies de mayor presencia dentro del área del cálculo.

Porcentaje de cobertura: se utilizó un marco de madera de 1,67 × 0,60 m, que fue prefijado en el área del cálculo, evaluando toda la vegetación presente en su interior, donde se registró el porcentaje de la superficie cubierta, según propuesta de Braun Blanquet (1979) y Venegas (2004).

3.2.4.1.3. Análisis estadístico aplicado.

Se determinaron los estadígrafos descriptivos media, desviación estándar y coeficientes de variación para todos los caracteres cuantitativos evaluados. La información resultante de las evaluaciones se procesó mediante un análisis de varianza doble (ANOVA), en el caso de presentarse diferencias significativas detectadas, estas se compararon mediante la prueba de Rango Múltiple de Duncan al 5 %, utilizándose el paquete estadístico *Statistical Package for the Social Sciences-SPSS* versión 19.0 (2010).

Todos los experimentos se desarrollaron siguiendo las normas técnicas para el cultivo de maíz en las condiciones de Huambo según MINADER y FAO (2003) (Tabla 8).

3.2.4.2. Estudio del período crítico de competencia interespecífica maíz-arvenses.

Los tratamientos estudiados responden al diseño que propicia encontrar el período crítico de competencia interespecífica arvenses-cultivo, a partir de trazar un esquema en el cual los efectos de daños ascendentes (*sin manejo de arvenses “hasta”*) y descendentes (*con manejo de arvenses “hasta”*) posean la misma diferencia en el tiempo, según ha sido utilizado para el estudio de períodos críticos (González, 2006; Labrada, 2006; Blanco y Leyva, 2011). Para ello, se desarrolló

Tabla 8. Actividades realizadas durante la conducción de los experimentos

| Experimentos | Año de inicio | Año de conclusión | Tecnología de siembra o plantación | Actividades fitotécnicas | Observaciones |
|---|---------------|-------------------|---|--|--|
| Diagnóstico (General y específico) | 2 010 | 2 013 | Se registró la tecnología por Nivel de Desarrollo Agrario de los agroecosistemas de Huambo. | Se registraron las principales técnicas (qué, cómo, cuánto y cuando) por Niveles de Desarrollo Agrario (NDA) de los agroecosistemas del Huambo. | Se anotaron las diferencias principales entre los niveles de desarrollo (NDAI, NDAII, NDAIII) |
| Determinación del Período crítico de Competencia entre el maíz vs arvenses (Dos experimentos) | 2 011 | 2 014 | Preparación de suelo: mecánico (arado): rotura, gradeo (2) surcado; Siembra: manual ; Variedad: SAM 3 (ciclo de 180 días) Arreglo espacial: 0,80 x 0,30 m Superficie/parcela: 30 m ² ; Réplicas : 4 | Fertilización de fondo: portadores (Urea, Superfosfato doble, K ₂ Cl) Dosis: 150 kg de N, 60 kg de P ₂ O ₅ y 160 kg de K ₂ O. Manejo de arvenses: cada 7 días/tratamiento. Cosecha: a los 6 meses | Se registró en cada labor de manejo, el estado fisiológico del cultivo de maíz No fue necesario realizar labores de riego, durante el desarrollo del experimento. |
| Estudio de los Métodos de manejo de arvenses (Dos experimentos) | 2 011 | 2 014 | Preparación de suelo: mecánico (grada): Rotura, gradeo (2) surcado; Siembra: manual ; Variedad: SAM 3 (ciclo de 180 días) Arreglo espacial: 0,80 x 0,30m Superficie/parcela: 50 m ² ; Réplicas : 4 | Fertilización de fondo: Fórmula completa: 12 – 24 - 12 Dosis: 400 kg ha ⁻¹ Manejo arvenses: dos deshierbes antes y después del período crítico (a los 15 y 25 días posteriores a la germinación de maíz). | No fue necesario realizar labores de riego, durante el desarrollo del experimento. |
| Estudios de los efectos de los Precedentes culturales Cultivo principal: maíz ZM521 (ciclo corto), Cultivos precedentes (6) Soya (var. Criolla); Girasol (var.Criolla), Batata (Yanshu y Lonbito 19 Frijol (Manteiga) (Dos experimentos) | 2 011 | 2 014 | Preparación de suelo: mecánico (grada): Rotura (1), gradeo (2) surcado; Siembra: manual ; Variedad: ZM 521 (ciclo corto 120 días) Arreglo espacial: 0,80 x 0,30m Superficie/parcela: 50 m ² ; No. Réplicas : 4 | Aplicación de nitrógeno teniendo como portador la urea al 48 %, a una dosis de 4 kg de urea en 100 litros de agua (4 %) en todos los tratamientos | No fue necesario realizar labores de riego, durante el desarrollo del experimento |

un primer experimento entre los meses de octubre de 2011 a abril del 2012, utilizando un diseño de bloques al azar, con parcelas de 30 m² (5 x 6 m), con nueve tratamientos asignados a cada uno de los dos esquemas, para un total de 18 tratamientos, con cuatro réplicas. Los arreglos espaciales fueron de 0,80 x 0,30 cm lo que aporta una población total de 41 600 plantas por hectárea.

Para la selección de la variedad de maíz (variedad SAM₃, descrita en el Anexo IX) se tuvo en cuenta la preferencia de los productores por el gusto y la resistencia a la sequía, las plagas y las enfermedades. El manejo de arvenses se realizó con azada, de manera tal que el tiempo de competencia entre el maíz y las arvenses fue siempre el mismo (Tabla 9).

Tabla 9. Tratamientos estudiados en el experimento de período crítico.

| Número tratamientos | Con manejo de arvenses hasta” | Número tratamientos | Sin manejo de arvenses “hasta” |
|---------------------------|---------------------------------------|---------------------|---------------------------------------|
| 1 | 7 días después de germinación | 10 | 7 días después de germinación |
| 2 | 14 días después de germinación | 11 | 14 días después de germinación |
| 3 | 21 días después de germinación | 12 | 21 días después de germinación |
| 4 | 28 días después de germinación | 13 | 28 días después de germinación |
| 5 | 35 días después de germinación | 14 | 35 días después de germinación |
| 6 | 42 días después de germinación | 15 | 42 días después de germinación |
| 7 | 49 días después de germinación | 16 | 49 días después de germinación |
| 8 | 56 días después de germinación | 17 | 56 días después de germinación |
| 9 | TC- Durante todo el ciclo del cultivo | 18 | TC- Durante todo el ciclo del cultivo |
| TC –representa el testigo | | | |

Se realizaron regresiones entre las variables altura de la planta y número de hojas, con el tiempo de permanencia del cultivo con las arvenses, así como de estas con los rendimientos, mediante ecuaciones lineales para la altura de planta, número de hojas y polinómicas de segundo grado, para el análisis de rendimiento. Un segundo experimento vinculado al período crítico fue sembrado en octubre de 2013 y concluyó en el año 2014, en áreas del Instituto de Investigación Agronómica de Chianga, dirigido a corroborar los resultados del primer experimento, acerca del período crítico encontrado, para lo cual se estudiaron solo tres tratamientos:

1. Maíz sin realizarle ninguna labor de manejo de arvenses.
2. Maíz con labores de manejo de arvenses solo en el período crítico determinado.

3. Maíz con labores de manejo de arvenses durante todo el ciclo del cultivo.

Las condiciones experimentales y labores fitotécnicas fueron realizadas siguiendo las mismas normas técnicas del primer experimento; en este solo se calculó el rendimiento del maíz, con el objetivo de comprobar la determinación del período crítico, dado que ya se conocía el comportamiento de las variables altura de la planta y número de hojas. La cosecha se realizó seis meses después de la siembra.

Para todos los tratamientos se realizó una fertilización en el momento de la siembra a razón de 150 kg de N, 60 kg de P₂O₅ y 160 kg de K₂O por hectárea, según propuesta de Sito (2004). Los portadores utilizados fueron: nitrato de amonio, superfosfato doble y cloruro de potasio respectivamente.

3.2.4.3. Estudio de los métodos de manejo de arvenses.

Para conocer la eficiencia económica de los sistemas productivos se desarrolló un experimento con un diseño de bloques al azar con cuatro tratamientos y tres réplicas, estableciéndose cuatro bloques en franjas de 50 m² (5 x 10 m). La variedad utilizada fue SAM₃ de ciclo largo (180 días).

Los tratamientos utilizados se plasman en la Tabla 10.

Tabla 10. Tratamientos utilizados en el experimento, según esquema de manejo de arvenses.

| Tratamientos | Medios | Sistemas |
|------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| Químico | Herbicidas (pre y post emergentes) | Altos insumos |
| Mecánico | Tractor/grada/azada | Altos insumos |
| Químico/mecánico | Herbicidas pre emergente/azada | Transición (hacia la agroecología) |
| Cultural | Cultivos asociados(maíz-frijol)/azada | Agroecológico/tradicional |

Descripción de los tratamientos

1. *Tratamiento químico.* Para el control de las arvenses se utilizó el herbicida Paraquat selects 20 en pre y post emergencia, a una dosis de 1,5 L ha⁻¹. La aplicación en post-emergencia fue 20 días después de la germinación, para eliminar las arvenses que sobrevivieron en la aplicación anterior.

2. *Tratamiento mecánico.* Se utilizaron dos labores mecánicas motorizadas y una con azada, con el objetivo de controlar las arvenses; la primera labor motorizada se hizo 20 días después de la germinación de las semillas y simultáneamente una labor con azada, la segunda labor motorizada se realizó a los 35 días después de la germinación.
3. *Tratamiento químico-mecánico.* Se utilizó el herbicida pre-emergente (Paraquat select 20) y una labor de desyerbe manual con azada para eliminar las arvenses no controladas pre período crítico, es decir, a los 20 días de la germinación del maíz.
4. *Tratamiento cultural.* Se hizo la asociación del maíz con una leguminosa (*Phaseolus vulgaris* L.).

Para el control de las arvenses fue necesario realizar dos labores de cultivo de forma manual, aunque con reducción al 50 % del personal que realizó la labor; una a los 18 días y otra a los 28 días de la germinación de las semillas de maíz, la siembra del frijol se realizó simultánea con la de maíz, buscando evitar la competencia interespecífica.

3.2.4.3.1. Indicadores de la rentabilidad del sistema.

La valoración económica de los resultados del experimento se realizó sobre la base de los tratamientos recomendados y se evaluaron los siguientes indicadores, según Marroquín *et al.* (2006); Trujillo *et al.* (2007); Toledo, (2008); Marroquín *et al.* (2012)

- Valor de la producción (valor total de la producción en Kz ha⁻¹): rendimiento del cultivo multiplicado por el precio de venta de una tonelada de producto.
- Costos de producción por hectárea (costo total en Kz ha⁻¹): sumatoria de los costos incurridos por la aplicación de los fertilizantes minerales, herbicidas empleados más el costo de la preparación del suelo, del establecimiento del cultivo y de la mano de obra.
- Ganancia (Kz ha⁻¹): se registró a partir de la diferencia entre el valor de la producción y los costos de producción.

3.2.4.4. Estudio de precedentes culturales al cultivo de maíz.

Se condujeron dos experimentos bajo condiciones de campo para evaluar el efecto de cultivos como precedentes culturales al maíz y su influencia sobre la disminución de la dominancia de arvenses durante el crecimiento y el desarrollo del maíz.

3.2.4.4.1. Experimento realizado en la localidad de Chianga.

Se escogió una superficie de 1 140 m² donde se estableció un experimento con un diseño de bloque al azar con tres réplicas y siete tratamientos (Tabla 11).

Se utilizó la soya (*Glycine max* L.), el girasol (*Helianthus anus* L.), la batata (*Ipomea batata* L.) y el maíz (*Zea mays* L.) asociados, en monocultivo o ambos; el barbecho representó al testigo.

El maíz fue sembrado en todas las parcelas, después de cosecharse los cultivos precedentes con las mismas dimensiones, de manera que se pudiera evaluar sus efectos sobre dicho cultivo. Los tratamientos se diseñaron conforme al interés de mantener como precedente al maíz un cultivo ahogante de las arvenses, tanto en monocultivo como asociado, según propuesta de Puentes *et al.* (1982) y León y Ravelo (2010).

Tabla 11. Secuencia de cultivos previos a la siembra de maíz.

| Tratamientos | Septiembre de 2011 a enero de 2012 | Febrero de 2013 a junio de 2014 |
|-----------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| Soya (variedad criolla) | x | |
| Girasol+Soya | x | |
| Girasol (variedad criolla) | x | x |
| Girasol+Batata | x | x |
| Batata (Lonbito 19, Yanshu) | x | x |
| Maíz. (variedad ZM521) | x | x |
| Barbecho | x | x |
| Maíz+Frijol | | x |
| Maíz+Batata | | x |
| Frijol (variedad Manteiga) | | x |
| Girasol +Frijol | | x |

En el momento de establecerse los cultivos precedentes, no se realizó ninguna aplicación de fertilizante. Después de la última labor de manejo de arvenses (a los 35 días) se aplicó nitrógeno, teniendo

como portador la urea al 48 %, a una dosis de 4 kg en 100 litros de agua (4 %) en todos los tratamientos (MINADER, 2009).

La siembra de los cultivos precedentes fue realizada al iniciarse las precipitaciones (última semana de septiembre de 2011), siguiendo las exigencias fitotécnicas para cada uno de los cultivos (Marcelino, 1973).

Las labores de manejo de arvenses fueron realizadas con azada (*sacha*) dos veces; a los 20 y 35 días después de la siembra y la plantación. Los precedentes estuvieron libres de plagas, razón por lo cual no fue necesario hacer aplicaciones de productos para esos fines.

Las cosechas se realizaron de forma manual, según el ciclo de cada cultivo, concluyéndose a los 111 días después de la siembra. Los residuos de las cosechas de los precedentes fueron incorporados al suelo durante la preparación para la nueva siembra de maíz como cultivo sucesor. En el área de barbecho no se realizó ninguna labor de manejo de arvenses, estas fueron incorporadas en la preparación del suelo, para lo cual se utilizó como implemento principal la grada. En la primera quincena de febrero de 2012 (30 días después) se sembró toda el área con maíz, variedad ZM521 (Anexo X), sobre las parcelas previamente marcadas para lograr usar exactamente la superficie donde fueron ubicados los cultivos precedentes.

El maíz fue sembrado con un arreglo espacial de 80 x 30 cm, según Sito (2004) a razón de dos semillas por nido, se realizaron dos labores de manejo de arvenses a los 15 y 25 días de la germinación, según resultados primarios del período crítico.

El segundo experimento (2013-2014) se realizó por los mismos objetivos del primero; además, en este se incluyeron dos nuevos tratamientos (maíz+frijol y maíz+batata), de manera que puede evaluarse la eficiencia de los sistemas productivos monoculturales vs policulturales (Tabla 11).

La evaluación de la eficiencia de los policultivos se determinó del Índice Equivalente del Uso de la Tierra (IET), sobre la base del cálculo recomendado por Leihner (1983) a saber: $IET = IETa + IETb$; siendo el $IETa$ la relación del valor de la producción en el policultivo del cultivo a, con la del monocultivo (cultivo a), que sumado a los resultados de dicha relación ($IETb$), debe ser mayor a uno (1) para ser considerado eficiente. Cuando el Rendimiento Relativo Total (RRT)

del IET es menor que la unidad, la asociación resulta desventajosa. Para el caso de esta investigación el Uso Equivalente de la Tierra en el Tiempo (ATER), propuesto por Hiebsch y Mc Collum (1987), asume el mismo valor de IET porque la siembra de los policultivos se realizó al mismo tiempo.

Las restantes variables evaluadas, coincidieron con las mismas del experimento anterior. La siembra de maíz en todas las parcelas se realizó en la primera semana de febrero del año 2014 y la cosecha se llevó a cabo en julio del mismo año.

IV.
RESULTADOS
Y
DISCUSIÓN

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados del estudio de los aspectos socioculturales. Valoración de la agricultura en Huambo.

La información general del diagnóstico indicó que en las zonas rurales de Huambo, aún persisten problemas relacionados con las tres principales dimensiones de la sostenibilidad, es decir, la dimensión sociocultural, la económica y la medioambiental. En particular la dimensión sociocultural, evidenció insuficiencias en sus indicadores principales: alimentación, salud y educación; esta situación afecta sobre todo a las mujeres, pues por los tradicionales e injustos conceptos culturales, son ellas las que más trabajan y, por tanto, la equidad de género se distancia (Fotos 1 y 2).



Fotos 1 y 2. El bregar cotidiano de la mujer rural en Huambo, Angola.

El problema crítico que limita el desarrollo agrario rural, según los decisores locales es la carencia de agua, que no concientizan como problema fundamental en el marco de un carente desarrollo social, lo que se refleja en la falta de recursos tecnológicos para garantizar el agua que requiere la producción de alimentos y la ausencia total de iniciativas para su captura; estos son aspectos relevantes a considerar en la calidad de vida de las comunidades rurales; todo lo cual coincide con investigaciones de Orellana (2008); Chirinos *et al.* (2008); Ringler *et al.* (2010); Biswas

et al. (2012); Tortajada (2013); Tortajada (2014). Bajo esas condiciones, las familias no buscan alternativas que proporcionen independencia de insumos para mejorar su calidad de vida, lo que concuerda con lo expuesto por Leyva (2013), al expresar que la percepción limitada del concepto “calidad de vida” del actor iletrado, impide ver los factores limitantes del progreso hacia el desarrollo, al convertir las necesidades en costumbres y parte natural del buen vivir.

La alimentación básica de la población rural se sustenta en el cultivo del maíz, en forma de pirão (harina); este alimento representa el 80 % del total de la alimentación diaria según reportes de MAT (2006, 2013), evidenciándose una alimentación no equilibrada según requerimientos diarios de los humanos (Sasson, 1993). Económicamente también dependen del cultivo de maíz, cuya productividad está limitada por la utilización de una tecnología de altos insumos impuesta, dada la ausencia de insumos ecológicos en el mercado y el desconocimiento de los agricultores de su presencia en el propio agroecosistema, que les impide ver las oportunidades de disminuir costos e incrementar ganancias.

La dimensión medioambiental es poco atendida, al punto que se desconoce totalmente las nuevas alternativas de hacer la agricultura más armónica con el medio ambiente. El problema de la presencia de especies dominantes como consecuencia del excesivo uso de herbicidas, que afecta el equilibrio de la fitocenosis de los sistemas productivos, sólo creen posible solucionarlo por medio de los herbicidas.

De la información obtenida en las entrevistas a decisores y facilitadores locales, se pudo conocer la existencia de tres niveles de desarrollo de la agricultura en Huambo, Angola, es decir agricultores con alto y medio nivel de desarrollo, que son la minoría, y los de bajo nivel de desarrollo, representantes de la mayoría, por lo que se hizo necesario profundizar en su conocimiento y definir su rol en el acercamiento a la sostenibilidad de la producción agraria en Huambo, Angola.

4.1.1. Determinación del Índice General de Sostenibilidad (IGS) por niveles de desarrollo agrario.

En la Figura 1 se representa el grado de acercamiento a la sostenibilidad, según los Niveles de Desarrollo Agrario (NDAI, NDAII y NDAIII) en Huambo. En general, los resultados mostraron insostenibilidad ($IGS < 0,6$) para los tres niveles de desarrollo, puesto de manifiesto en los principales indicadores evaluados.

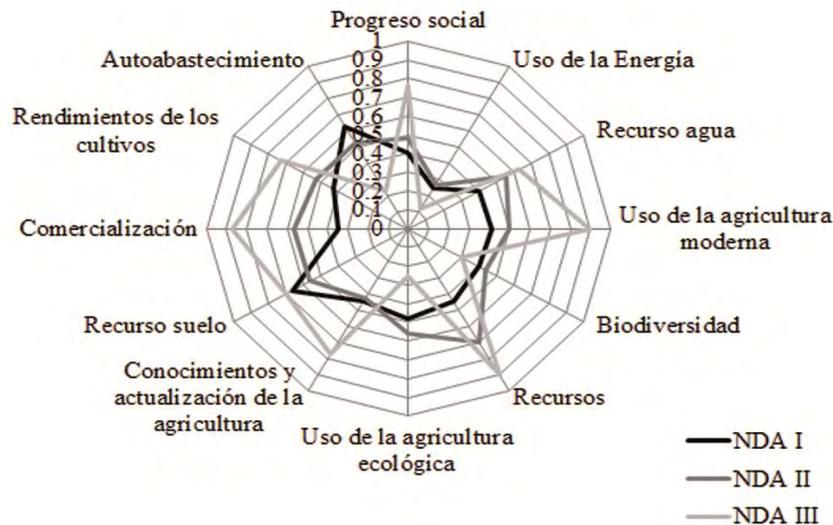


Figura 1. Comportamiento de los indicadores que reflejan el IGS del cultivo de maíz (*Zea mays* L.)

Para el NDAI (agricultores de bajos insumos), todos los indicadores mostraron alto distanciamiento de la sostenibilidad. El autoabastecimiento y protección del recurso suelo, aparecieron como los más cercanos; sin embargo, no lograron los valores deseados, aun cuando ambos son el reflejo de los principios que deben regir este nivel de desarrollo. Los escasos conocimientos sobre el uso de los recursos que han conducido la agricultura desde una perspectiva productivista al estilo de la agricultura de altos insumos, han convertido sus predios en espacios desequilibrados con escasa biodiversidad y dominancia de arvenses con alta plasticidad ecológica y de difícil manejo.

Estos resultados indican la necesidad de modificar el enfoque actual hacia la solución de los problemas desde otra perspectiva, haciendo un mayor uso de los recursos del agroecosistema, punto de partida para lograr una agricultura sostenible, basada en los principios de la agroecología. En este sentido Funes-Monzote (2001); Altieri *et al.* (2007), se han pronunciado al indicar que la transformación de un agroecosistema hacia la agricultura ecológica sostenible, requiere de un enfoque donde, los recursos del medio sean utilizados con prioridad, en relación a los externos.

La práctica de los principios de la agricultura moderna entre los pequeños agricultores, ha sido causa del deterioro medioambiental en la mayoría de los países que han seguido esa política agraria, como base del desarrollo nacional (Altieri *et al.*, 2012). En este sentido, los resultados ponen en evidencia que Huambo se asienta en la producción agraria orientada al autoabastecimiento, basada en la agricultura de altos insumos, con déficit de condiciones objetivas para un cambio favorable y que, según Benguela *et al.* (2008) tal situación impide producir un salto económico al menos en corto tiempo.

Para los NDAII y NDAIII, agricultores medios y altos respectivamente, representantes de una pequeña parte de los agricultores en Huambo (3 %), mostraron mayor acercamiento a la sostenibilidad en algunos de sus indicadores. Si bien el progreso social, para NDAIII resultó superior respecto a los otros dos niveles, fue aún insuficiente para alcanzar los valores óptimos deseados y para los indicadores biodiversidad y autoabastecimiento, que son de suprema importancia para el agroecosistema, presentaron inequidad entre ellos y fueron inferiores al NDAI.

El resultado muestra que la solución a los problemas que determinan la sostenibilidad de la producción de maíz en Huambo, no debe basarse únicamente en los principios de la agricultura de altos insumos y, por tanto, potenciar indicadores agroecológicos como la agrobiodiversidad, puede ayudar simultáneamente al fortalecimiento de otros indicadores, como es los gastos energéticos no convencionales, autoabastecimiento y mejoramiento de las propiedades del suelo, tal y como han señalado Pimentel y Pimentel (2005); Rodas (2011); Mósquera *et al.* (2012).

4.1.2. Nivel de Desarrollo Agrario por dimensiones.

Para exponer las diferencias entre los niveles de desarrollo, Benítez *et al.* (2008) valoraron la importancia de las variables que definen las dimensiones y que se relacionan con el sistema de manejo. El análisis del Nivel de Desarrollo Agrario bajo, medio y alto (NDAI, NDAII y NDAIII) por dimensiones: sociocultural, económico y medioambiental, se pueden apreciar en la Tabla 12.

Tabla 12. Valores del Índice General de Sostenibilidad (IGS) y de sus dimensiones (IGS_d).

| IGS | Dominio I (NDAI) | | | Dominio II (NDAII) | | | Dominio III (NDAIII) | | |
|---|------------------|-----------------|-----------------|--------------------|------------------|----------------------|----------------------|-------------------|-------------------|
| IGS_d (I-III) | DS _I | DE _I | DM _I | DS _{II} | DE _{II} | DM _I I | DS _{III} | DE _{III} | DM _{III} |
| Valores de IGS por dimensiones | 0,42 | 0,41 | 0,64 | 0,45 | 0,60 | 0,56 | 0,54 | 0,83 | 0,41 |
| Valores de IGS_d | 0,49 | | | 0,53 | | | 0,59 | | |
| $IGS_{total} \sum n NDA/n$ | 0,54 | | | | | | | | |
| DS dimensión sociocultural DE dimensión económica DM dimensión medioambiental | | | | | | | | | |

Es evidente que los actores de menores posibilidades económicas y que han hecho uso de las tecnologías agrarias modernas sin prever sus consecuencias, son los de menores índices, inferiores al de mayor desarrollo económico. Sin embargo, el análisis por dimensiones ofrece otra lectura, al mostrar sólo esa superioridad para dos dimensiones (económica y sociocultural), mientras la dimensión medioambiental manifestó el mayor distanciamiento de la sostenibilidad (0,41), lo que alerta sobre el elemento negativo que impone a los agroecosistemas este modelo productivo. Aun cuando el NDAI ha sufrido el daño impuesto en la dimensión medioambiental, conserva una agrobiodiversidad (funcional y acompañante) que supera los restantes niveles de desarrollo, razón que aconseja tomar esta información como referencia para evitar daños mayores.

Según Toledo (2008), afrontar investigaciones científicas hacia un mayor uso de los principios que propugnan el funcionamiento holístico de los escenarios productivos, es el camino hacia la restauración paulatina de los agroecosistemas que han sido dañados.

4.1.3. Índice General de Sostenibilidad (IGS) de la producción de maíz.

Los resultados del diagnóstico general mostraron, que el grado de acercamiento a la sostenibilidad en la producción de maíz alcanzó un valor de 0,42. En la Tabla 13 se presentan los valores de IGS de la producción de maíz por dimensiones, los que mostraron similitud en el valor del índice, pero aún distanciado del valor deseado (0,6), que según Zinck *et al.* (2005), es el inicio al acercamiento a la sostenibilidad.

Tabla 13. Índice General de Sostenibilidad de la producción de maíz.

| IGS | Nivel de Desarrollo Agrario para la producción de maíz por dimensiones | | |
|--|--|----------------|-----------|
| IGS _d | Sociocultural | Medioambiental | Económica |
| Valores de IGS | 0,43 | 0,37 | 0,45 |
| IGS _{total} $\sum d/n$ | 0,42 | | |
| d: dimensiones; n: número de dimensiones | | | |

Dentro de la dimensión sociocultural, la falta de iniciativas para transformar el nivel de pobreza existente es una

limitante, lo cual está estrechamente relacionado con los niveles culturales dominantes en las localidades rurales. Los escasos conocimientos de la importancia de la dimensión medioambiental, como principio básico de la agroecología, constituye una de las principales limitantes para lograr un IGS óptimo, siendo esta la dimensión de mayor afectación; los resultados expuestos, poseen coincidencia con trabajos desarrollados en Cuba por Lores (2009), al evaluar la sostenibilidad de varias fincas en una comunidad rural.

La dimensión económica estuvo afectada por la escasa disponibilidad de agua, que al parecer constituye el indicador de mayor influencia sobre los bajos niveles de productividad por año. Como las precipitaciones ocurren fundamentalmente entre los meses de octubre a marzo y la inexistencia del sistema de captura de agua restringe la producción de alimentos en los meses pocos lluviosos, proporciona baja productividad por superficie por año. Tortajada (2014) añade que en las comunidades rurales el problema del agua, está no solo relacionado con su disponibilidad, sino también con su calidad, la que puede contaminar los suelos y por tanto, la calidad de las cosechas.