



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Cultivo experimental de *Jatropha curcas* L. en condiciones áridas de la República Dominicana



TESIS DOCTORAL

Autor: **Antonio Cerveró Domènech**

Director: **Dr. Herminio Boira Tortajada**

Departamento de Ecosistemas Agroforestales
Instituto Agroforestal Mediterráneo

Valencia, Diciembre 2014



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

DEPARTAMENTO DE ECOSISTEMAS AGROFORESTALES

INSTITUTO AGROFORESTAL MEDITERRÁNEO

**Cultivo experimental de *Jatropha curcas* L.
en condiciones áridas de la República Dominicana.**

TESIS DOCTORAL

Autor:

Antonio Cerveró Domènech

Director:

Dr. Herminio Boira Tortajada

Valencia, Diciembre de 2014

AGRADECIMIENTOS

A Herminio Boira, por todo el interés y generosa dedicación hacia este trabajo, así como por toda la confianza que ha depositado en mi a lo largo de estos años. Gracias por sus lecciones, por compartir sus conocimientos, y por enseñarme a razonar para intentar comprender la naturaleza.

A José Vicente Galindo, por su apoyo, atención y confianza, tan importante para mí, pero sobretodo por su amistad, y a Rafa Méndez, por su compañerismo y consejos.

A la Fundación Sur Futuro, y muy afectuosamente a Doña Melba Segura y al grupo de Padre Las Casas, por toda su colaboración y atención hacia mi persona.

A todas y todos los habitantes y trabajadores en la parcela de El Cigual. Son quienes han llevado a cabo muchas horas de duro trabajo en el campo, no recogidas en este documento. Gracias por el día a día.

A Antony Severino y Elpidio Zabala, de El Cigual, y a Jorge Luis Vicente, de Villa Ocoa. A pesar de la distancia física que nos separa, los tengo muy presentes. Gracias por su ayuda, y por encima de esto, por su forma de ser y su amistad.

A José Manuel Barat y Ana Fuentes (grupo CUINA), por permitirme utilizar el espacio y los instrumentos necesarios para poder desarrollar el capítulo del aceite, así como a Juan Antonio Llorens por sus orientaciones respecto a la extracción.

A Jaime Prohens, Pascual y Salva (COMAV), por el trato recibido y permitirme utilizar los invernaderos, y a Andrea Gromaz por dejarme muestrear suelo de sus parcelas.

A Merche Verdeguer y David García, apreciados compañeros de departamento, por sus ánimos y consejos del día a día.

A Aleixandre Beltrà (Entomología), Ana Luján, David Solar (Instituto de Ingeniería Energética), Gonçal Garcés, Pepa Ramírez, y Vicent (Citricultura y Fruticultura) por sus útiles orientaciones.

A Neus Bernat, por su paciencia, predisposición y generosa ayuda en todo momento, y a Rosa Reig, por su gran aportación en la fase final.

Gracias a todas y todos por vuestra ayuda desinteresada. No me olvido de familiares y amigos aquí no citados, tan estimados y valiosos para mí.

A mi madre y a mi padre, a los que debo todo lo que soy y tengo. Cualquier tipo de agradecimiento hacia ellos siempre me resultará insuficiente. Mención especial para mi abuela Antonieta, a quien constantemente tengo presente.

RESUMEN

El cultivo de *Jatropha curcas* L. constituye una alternativa como fuente energética renovable. Limitado a zonas cálidas, las investigaciones ya realizadas sobre su aprovechamiento no aportan suficiente información para el conocimiento completo de su explotación agrícola, llegando a ser una especie no domesticada en la actualidad.

La presente tesis doctoral tiene como objetivo principal estudiar la influencia de determinados factores agroecológicos en climas subtropicales secos que afectan al rendimiento en peso de semilla de *J. curcas*. Se estableció un diseño experimental multifactorial bajo condiciones de aridez en la zona suroeste de la República Dominicana, considerando la respuesta de 2 variedades frente a 2 niveles de abonado, altura de surco, escarda y marco de plantación, cuya combinación definió cada uno de los tratamientos ensayados. Para atender el diseño, se acondicionaron 96 cuadros experimentales, de 400 m² cada uno.

La variabilidad observada para los rendimientos obtenidos indica que la productividad respondió a los factores adoptados. Los mayores valores (760 Kg/Ha) se registraron para la variedad Cabo Verde, bajo una elevada frecuencia de escarda, menor marco de plantación (2,5x3 m), aporcado de surcos (de 30 cm de altura) y mayor dosis de abonado (150 Kg/Ha). El desarrollo vegetativo y fenológico del cultivo estuvo fuertemente condicionado por los aportes hídricos propios del periodo húmedo. Los datos microclimáticos registrados de la parcela experimental se mostraron similares a los históricos recopilados del municipio más cercano.

Se verifica la elevada capacidad de propagación de *J. curcas*, obteniendo altos porcentajes de supervivencia tanto en la reproducción por semilla (90%) como por estaca (100%). Para este último caso, la aplicación de auxinas (IBA) propició un mayor desarrollo radicular, hecho más evidente a dosis más elevadas (5 mg/L).

La eliminación de los componentes de la vegetación arvense en las parcelas de cultivo representa partidas costosas en los programas de explotación. Por ello se dedica un apartado a este subecosistema, realizando un estudio fitosociológico a partir del muestreo de inventarios y cálculo de los índices sintéticos. Se definieron 4 asociaciones distintas según las clasificaciones dicotómicas obtenidas, que reflejan las afinidades ecológicas

entre las especies contempladas, de las que se elabora un catálogo florístico. Al final del documento se anexan otras especies determinadas taxonómicamente y que forman parte de la flora natural.

Las plagas y enfermedades como subecosistema agrícola no tuvieron una incidencia significativa sobre el rendimiento del cultivo. Para el primer caso, aunque el control de ácaros resultó el de mayor dificultad, destacan los géneros *Pachycoris sp.* y *Naupactus sp.* por su distribución generalizada a lo largo del ciclo. Los daños causados por hongos se reducen al periodo de mayor humedad.

Otro de los objetivos estudiados ha sido la fijación de CO₂ del cultivo. Se determinó la capacidad sumidero de *J.curcas* al año y medio de edad para dicho gas, de aproximadamente 4 Tm CO₂/Ha. En comparación con la especie más representativa de la vegetación natural *P. juliflora*, los resultados indican que para la zona elegida, ambas podrían fijar por superficie cantidades similares.

La investigación finaliza con un apartado dedicado a la caracterización del aceite de la semilla. Tanto el contenido del mismo como los parámetros físico-químicos determinados (composición química, contenido en volátiles, carbono fijo y cenizas, y poder calorífico) mostraron valores similares para las muestras procedentes de distintas variedades, rendimientos en campo y edad de la plantación.

El cultivo resultó viable. Sin embargo, es improbable que sin riego puedan alcanzarse resultados similares a los obtenidos en zonas con climas de mayor humedad, aspecto que contribuye a destacar la importancia de considerar el medio agroecológico. Para una óptima y rentable explotación, debe tenerse en cuenta la calidad del material vegetal y las labores agrícolas, como ha reflejado el efecto de los factores estudiados sobre el rendimiento.

Los resultados obtenidos abren las puertas a continuar con la investigación y realizar más estudios acerca de la incidencia de los factores adoptados, evolución de la flora arvense como respuesta a la actividad antrópica, o el incremento de la productividad primaria de la planta, entre otros.

Palabras clave: aceite, semiárido, arvense, fijación CO₂, *Jatropha curcas*, parcela experimental, propagación, rendimiento.

ABSTRACT

The cultivation of *Jatropha curcas* L. is an alternative renewable energy source. Being limited to warm areas, existing research on its exploitation does not provide enough information for us to have complete knowledge about its farming, so that it is still an undomesticated species today.

The main objective in this dissertation is to study the influence of certain agroecological factors in dry subtropical climates that affect the seed weight yield of *J. curcas*. A multifactorial experimental design was defined under arid conditions in the southwestern area of the Dominican Republic, measuring the response of 2 varieties given 2 levels of fertilization, furrow depth, weeding and planting space, the combination of which defined the treatments tested. In order to apply this design, 96 experimental squares of 400 m² each were conditioned.

The variability observed in the obtained yields indicates that productivity responded to the adopted factors. The highest values (760 kg/ha) were recorded for the variety Cabo Verde, under a high frequency of weeding, smaller planting space (2,5x3 m), furrow formation (30 cm high) and higher fertilizer dose (150 kg/ha). The vegetative and phenological development of the crop was strongly influenced by the water intake that is characteristic of the wet period. The microclimatic data recorded in the experimental field were similar to the historical data collected at the nearest town.

The propagation capacity of *J. curcas* is verified, high survival rates having been obtained in both reproduction by seed (90%) and by stem (100%). In the latter case, the application of auxin (IBA) led to greater root development, which became more evident at higher doses (5 mg/L).

The removal of the components of weed vegetation in crop fields constitute a costly portion of the operating programs. Therefore, a section is dedicated to this subecosystem, making a phytosociological study based on inventory sampling and calculation of synthetic indices. Four distinct associations were defined according to the dichotomous classifications obtained, reflecting the ecological affinities between the referred species, of which a floristic catalogue was made. As seen at the end of the document, other taxonomically determined species are appended, as part of the natural flora.

Pests and diseases as an agricultural subecosystem had no significant effect on crop yield. In the case of the former, although the control of mites was the most difficult aspect, the genera *Pachycoris sp.* and *Naupactus sp.* stand out because of their widespread distribution throughout the whole cycle. Damage caused by fungi is limited to the period with the highest humidity.

Another studied objective is CO₂ fixation by the crop. It was determined that the sink capacity of *J.curcas* (one year and a half old) for this gas is about 4 t CO₂/ha. Compared to the most representative species of natural vegetation *P. juliflora*, results indicate that for the chosen area, both could fix similar amounts for an equal surface.

The research concludes with a section devoted to the characterization of the seed's oil. Both its contents and the observed physicochemical parameters (chemical composition, volatile content, fixed carbon and ash, and calorific value) showed similar values for samples from different varieties, field yields and plantation age.

The cultivation was viable. However, it is unlikely that similar yields may be achieved without irrigation as those obtained in areas with more humid climates, something that contributes to highlighting the importance of considering the agroecological environment. For an optimal and profitable exploitation, the quality of the plant material and the farming tasks should be considered, as reflected by the effect of the studied factors on yield.

The obtained results open paths to continue this avenue of research and to make further studies about the impact of the adopted factors, the evolution of weed flora in response to human activity, and the increase in the plant's primary productivity, among other aspects.

Keywords: oil, semiarid climate, weed, CO₂ fixation, *Jatropha curcas*, experimental field, propagation, yield.

RESUM

El cultiu de *Jatropha curcas* L. constitueix una alternativa com a font energètica renovable. Limitat a zones càlides, les investigacions ja realitzades sobre el seu aprofitament no aporten suficient informació per al coneixement complet de la seva explotació agrícola, arribant a ser una espècie no domesticada en l'actualitat.

La present tesi doctoral té com a objectiu principal estudiar la influència de determinats factors agroecològics en climes subtropicals secs que afecten el rendiment en pes de llavor de *J. curcas*. Es va establir un disseny experimental multifactorial baix condicions d'aridesa a la zona sud-oest de la República Dominicana, considerant la resposta de 2 varietats front a 2 nivells d'abonat, altura de solc, birbada i marc de plantació, combinació dels quals va definir cadascun dels tractaments assajats. Per atendre el disseny, es van acondicionar 96 quadres experimentals, de 400 m² cadascun.

La variabilitat observada per als rendiments obtinguts indica que la productivitat va respondre als factors adoptats. Els majors valors (760 Kg/Ha) es van registrar per a la varietat Cabo Verde, baix una elevada freqüència de birbada, menor marc de plantació (2,5x3 m), formació de solcs (de 30 cm d'alçada) i major dosi d'abonat (150 Kg/Ha). El desenvolupament vegetatiu i fenològic del cultiu va estar fortament condicionat per les aportacions hídriques pròpies del període humit. Les dades microclimàtiques registrades a la parcel·la experimental es van mostrar similars a les històriques recopilades del municipi més proper.

Es verifica l'elevada capacitat de propagació de *J. curcas*, obtenint alts percentatges de supervivència tant en la reproducció per llavor (90%) com per estaca (100%). Per a aquest últim cas, l'aplicació d'auxines (IBA) va propiciar un major desenvolupament radicular, fet més evident a dosis més elevades (5 mg/L).

L'eliminació dels components de la vegetació arvensa en les parcel·les de cultiu representa partides costoses als programes d'explotació. Per això, es dedica un apartat a aquest subecosistema, realitzant un estudi fitosociològic a partir del mostreig d'inventaris i càlcul dels índexs sintètics. Es van definir 4 associacions diferents segons les classificacions dicotòmiques obtingudes, que reflecteixen les afinitats ecològiques entre les espècies contemplades, de les quals s'elabora un catàleg florístic. Al final

del document s'annexen altres espècies determinades taxonòmicament i que formen part de la flora natural.

Les plagues i enfermetats com a subecosistema agrícola no van tenir una incidència significativa sobre el rendiment del cultiu. Per al primer cas, encara que el control d'àcars va resultar el de major dificultat, destaquen els gèneres *Pachycoris sp.* i *Naupactus sp.* per la seva distribució generalitzada al llarg del cicle. Els danys causats per fongs es redueixen al període de major humitat.

Un altre dels objectius estudiats ha sigut la fixació de CO₂ del cultiu. Es va determinar la capacitat d'emmagatzemament de *J. curcas* a l'any i mig d'edat per a aquest gas, d'aproximadament 4 Tm CO₂/Ha. En comparació amb l'espècie més representativa de la vegetació natural *P. juliflora*, els resultats indiquen que per a la zona escollida, ambdues podrien fixar per superfície quantitats similars.

La investigació finalitza amb un apartat dedicat a la caracterització de l'oli de la llavor. Tant el contingut com els paràmetres fisicoquímics determinats (composició química, volàtils, carboni fix i cendres, i poder calorífic) van mostrar valors similars per a les mostres procedents de diferents varietats, rendiments en camp i edat de la plantació.

El cultiu va resultar viable. No obstant, és improbable que sense reg es puguin assolir rendiments similars als obtinguts en zones amb climes de major humitat, aspecte que contribueix a destacar la importància de considerar el medi agroecològic. Per a una òptima i rendible explotació, s'ha de tenir en compte la qualitat del material vegetal i les tasques agrícoles, com ha reflexat l'efecte dels factors estudiats sobre el rendiment.

Els resultats obtinguts obren les portes a continuar amb la investigació i realitzar més estudis sobre la incidència dels factors adoptats, evolució de la flora arvense com a resposta a l'activitat antròpica, o l'increment de la productivitat primària de la planta, entre d'altres.

Paraules clau: oli, semiàrid, arvense, fixació CO₂, *Jatropha curcas*, parcel·la experimental, propagació, rendiment.

ÍNDICE

1.- INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.	3
1.1.- Fuentes actuales de energía y alternativas.	3
1.2.- <i>Jatropha curcas</i> L.	8
1.2.1.- Origen y ecología.	8
1.2.2.- Usos y rendimientos generales.	9
1.3.- Objetivos.	13
2.- ANTECEDENTES.	17
2.1.- Viabilidad.	20
2.2.- Aspectos ligados al manejo y desarrollo del cultivo.	21
2.3.- El cultivo como alternativa a cultivos tradicionales.	28
2.4.- Impacto ambiental. El cultivo de plantas bioenergéticas como alternativa frente al cambio climático.	31
3.- MATERIAL Y MÉTODOS.	39
3.1.- Descripción de <i>Jatropha curcas</i> L.	39
3.1.1.- Taxonomía.	39
3.1.2.- Fenología.	41
3.1.3.- Variedades.	42
3.2.- Biología reproductiva.	42
3.2.1.- Por semilla.	43
3.2.2.- Vegetativa.	44
3.3.- Diseño experimental. Cultivo de <i>Jatropha curcas</i> L.	45
3.3.1.- Planteamiento del estudio. Factores de desarrollo.	45
3.3.2.- Área de ensayo.	46
3.3.3.- El medio físico y sus características agroecológicas.	47

3.3.3.1.- Clima.	47
3.3.3.2.- Suelo.	48
3.3.3.3.- Hidrología.	50
3.3.3.4.- El paisaje vegetal.	51
3.3.4.- Aplicación del diseño experimental y desarrollo del cultivo.	51
3.3.4.1.- Preparación del terreno.	52
3.3.4.2.- Preparación del semillero. Siembra.	55
3.3.4.3.- Trasplante.	56
3.3.4.4.- Abonado.	57
3.3.4.5.- Escarda.	57
3.3.4.5.1.- Determinación e inventarios de la flora arvense.	58
3.3.4.6.- Plagas y enfermedades.	60
3.3.4.7.- Poda y despunte.	60
3.3.4.8.- Riego.	60
3.3.4.9.- Registro del desarrollo vegetativo y fenológico.	60
3.3.4.10.- Recolección y tratamiento poscosecha.	61
3.4.- Fijación de carbono.	62
3.5.- Extracción de aceite y determinación de parámetros.	64
3.5.1.- Densidad.	65
3.5.2.- Carbono, hidrógeno, nitrógeno y azufre.	65
3.5.3.- Poder calorífico.	66
3.5.4.- Contenido en cenizas, carbono fijo y material volátil.	66
3.6.- Tratamiento de los datos.	66
4.- RESULTADOS.	71
4.1.- Caracterización del entorno agroecológico.	71
4.1.1.- Clasificación bioclimática.	71
4.1.2.- Suelo.	78
4.1.3.- El medio y el paisaje vegetal.	80

4.2.- Reproducción.	81
4.2.1.- Por semilla.	81
4.2.2.- Vegetativa.	81
4.3.- Desarrollo y fenología del cultivo experimental.	85
4.4.- Rendimientos. Influencia de los factores adoptados.	87
4.4.1.- Variedad.	97
4.4.2.- Escarda.	98
4.4.2.1.- Subecosistema arvense.	100
4.4.3.- Altura de surco.	115
4.4.4.- Marco de plantación.	116
4.4.5.- Interacción de factores.	116
4.4.6.- Consideraciones respecto al resto de los factores.	117
4.5.- Subecosistema plagas y enfermedades.	118
4.6.- Aspectos medioambientales. Tasa de fijación de carbono.	121
4.7.- Contenido de aceite y determinación de parámetros.	126
4.7.1.- Rendimiento en aceite.	126
4.7.2.- Densidad.	126
4.7.3.- Análisis elemental. Determinación de CHNS.	127
4.7.4.- Poder calorífico.	127
4.7.5.- Contenido en volátiles, carbono fijo y cenizas.	127
5.- DISCUSIÓN.	131
6.- CONCLUSIONES.	147
7.- BIBLIOGRAFÍA.	151
8.- ANEXOS.	181

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 3.1.- Localización del área del desarrollo experimental.	47
Fig. 3.2.- Muestra de suelo de la parcela experimental.	50
Fig. 3.3.- a) Retroexcavadora en la nivelación del terreno. b) Arado de discos.	53
Fig. 3.4.- a) Marcado de cuadros en campo. b) Aporcado de surcos.	53
Fig. 3.5.- Distribución de los cuadros experimentales en la parcela de ensayo.	54
Fig. 3.6.- Distribución de las variedades en el cuadro experimental según marcos de plantación	55
Fig. 3.7.- Vivero de la variedad Cabo Verde. a) Alveolos preparados para la siembra. b) Estado de las plántulas previo al trasplante.	56
Fig. 3.8.- a) Trasplante. b) Planta a los 15 días del trasplante.	56
Fig. 3.9. - Cuadro experimental con panel de identificación.	56
Fig. 3.10.- Cuadros experimentales con/sin escarda.	58
Fig. 3.11.- Material empleado en la determinación taxonómica de especies.	59
Fig. 3.12.- Plantas seleccionadas para el seguimiento de altura. a) al mes y medio del trasplante. b) a los trece meses del trasplante.	61
Fig. 3.13.- Secado de semillas cosechadas por cuadro y variedad.	61
Fig. 3.14.- Preparación de muestras para su análisis elemental.	63
Fig. 3.15.- a) Endosperma y embrión de la semilla. b) Material triturado. c) Aceite extraído.	65
Fig. 4.1.- Precipitación efectiva frente a precipitación en la parcela experimental.	72
Fig. 4.2.- Diagrama bioclimático de la parcela experimental en 2011.	74
Fig. 4.3.- Diagrama ombrotérmico de Gausson para la parcela experimental en 2011.	74
Fig. 4.4.- Diagrama de termohietas para la parcela experimental en 2011.	75
Fig. 4.5.- Diagrama bioclimático de Padre Las Casas para un periodo de 30 años.	76

Fig. 4.6.- Comparativa de temperaturas entre Padre Las Casas y la parcela experimental (El Cigual).	77
Fig. 4.7.- Comparativa de precipitaciones entre Padre Las Casas y la parcela experimental (El Cigual).	77
Fig. 4.8.- Zona muestreada.	80
Fig. 4.9.- Germinación por semilla. a) Primeras germinaciones. b) Plántulas a los 13 días de la siembra.	81
Fig. 4.10.- Desarrollo de las estacas.	82
Fig. 4.11.- Longitud de raíces por tratamiento y variedad.	83
Fig. 4.12.- Desarrollo radicular en estacas de Cabo Verde sin aplicación de auxinas (a) y la variedad autóctona dominicana sometidas a 5 mg/L (b).	84
Fig. 4.13.- Altura de la plantación para el periodo Sep. 2010 - Dic. 2011.	86
Fig. 4.14.- Altura de la plantación a los 4, 11 y 15 meses en la parcela experimental (El Cigual) y Samba Gueye (Senegal).	86
Fig. 4.15.- Porcentaje de plantas con flores y/o frutos para el periodo Oct. 2010 - Dic. 2011.	87
Fig. 4.16.- Desarrollo de la zona Este de la plantación durante el ensayo.	88
Fig. 4.17.- Desarrollo de la planta durante el ensayo.	89
Fig. 4.18.- Evolución del peso de semilla durante el proceso de secado.	90
Fig. 4.19.- Evolución del peso del pericارpo durante el proceso de secado.	90
Fig. 4.20.- Peso de 40 semillas cosechadas en Julio, Septiembre y Noviembre 2011.	92
Fig. 4.21.- Peso de 40 semillas obtenido para los años 2011 y 2012.	93
Fig. 4.22.- Efectos principales para rendimiento.	95
Fig. 4.23.- Rendimiento registrado para cada variedad a lo largo un periodo anual de cultivo.	97
Fig. 4.24.- Resultados del ANOVA para el rendimiento de semilla en función de la variedad.	98
Fig. 4.25.- Porcentaje de plantas con flores y/o frutos para cada variedad durante el periodo Oct 2010 – Dic 2011.	98

Fig. 4.26.- Resultados del ANOVA para el rendimiento de semilla basado en la escarda.	99
Fig. 4.27.- Especies inventariadas en la parcela experimental.	107
Fig. 4.28.- a) Porcentaje de cada biotipo. b) Porcentaje del espectro corológico. c) Porcentaje de cada metabolismo.	108
Fig. 4.29.- Representación gráfica de resultados obtenidos para el factor abonado en el ANOVA.	113
Fig. 4.30.- Representación gráfica de resultados obtenidos para el factor escarda en el ANOVA.	114
Fig. 4.31.- Representación gráfica de resultados obtenidos para el factor marco de plantación en el ANOVA.	114
Fig. 4.32.- Representación gráfica de resultados obtenidos para el factor surco en el ANOVA.	115
Fig. 4.33.- Resultados del ANOVA para el rendimiento de semilla basado en la altura de surco.	115
Fig. 4.34.- Resultados del ANOVA para el rendimiento de semilla en función del marco de plantación.	116
Fig. 4.35.- Resultados del ANOVA para el rendimiento de semilla basado en la interacción escarda x variedad.	116
Fig. 4.36.- Gráfico de la interacción escarda x variedad para la variable rendimiento con el intervalo LSD.	117
Fig. 4.37.- Resultados del ANOVA para el rendimiento de semilla basado en el abonado.	117
Fig. 4.38.- Rendimiento para la interacción marco de plantación x variedad.	118
Fig. 4.39.- Gráfico de la interacción marco de plantación x variedad para la variable rendimiento con el intervalo LSD.	118
Fig. 4.40.- Plagas y enfermedades incidentes durante el ensayo.	120
Fig. 4.41.- Porcentaje de carbono obtenido para la interacción variedad x órgano de la planta.	123
Fig. 4.42.- Porcentaje en peso de nitrógeno en los distintos órganos de la planta.	123
Fig. 4.43.- Curva de extracción de aceite con equipo Fox Soxtec TM .	126
Fig. 4.44.- Ejemplo del gráfico obtenido para cada muestra en el análisis inmediato.	128

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1.- Factores y niveles considerados en el diseño experimental.	45
Tabla 3.2.- Tratamientos establecidos por la combinación entre niveles de los factores adoptados.	46
Tabla 3.3.- Muestras consideradas para la determinación del porcentaje en peso de carbono y nitrógeno.	62
Tabla 3.4.- Variedad, fecha de recolección y rendimiento en parcela de las semillas muestreadas para la extracción de aceite.	64
Tabla 4.1.- Datos climáticos registrados en la parcela experimental en 2011.	71
Tabla 4.2.- Precipitación efectiva calculada por el método USDA.	72
Tabla 4.3.- Cálculo de la ETP por el método Thornthwaite.	73
Tabla 4.4.- Cálculo de la ET_o por el método Penman-Monteith.	73
Tabla 4.5.- Índices y clasificación bioclimática del área de estudio.	75
Tabla 4.6.- Correlación de datos climáticos.	78
Tabla 4.7.- Análisis de suelo de El Cigual.	79
Tabla 4.8.- Tamaño de las estacas, y número y longitud de raíces.	83
Tabla 4.9.- Longitud de raíces registrada para cada tratamiento.	83
Tabla 4.10.- Longitud de raíces por tratamiento y variedad.	84
Tabla 4.11.- Evolución del peso de semilla y pericarpo durante el proceso de secado.	90
Tabla 4.12.- Tamaño y peso de las distintas partes del fruto en fresco y seco.	91
Tabla 4.13.- Valores obtenidos de Razón-F y Valor-P en el ANOVA multifactorial del diseño experimental.	94
Tabla 4.14.- Grupos homogéneos y rendimiento para cada nivel y factor.	94
Tabla 4.15.- Rendimiento por tratamiento.	96
Tabla 4.16.- Rendimientos registrados para cada variedad en distintas épocas en toda la plantación.	97
Tabla 4.17.- Características sistemáticas de especies arvenses.	100
Tabla 4.18.- Lista y características de las especies.	106

Tabla 4.19.- Matriz sintética a partir del análisis Twinspan.	112
Tabla 4.20.- Valores medios de los abonados correspondientes a los cuadros donde está presente cada asociación.	113
Tabla 4.21.- Valores medios de las escardas correspondientes a los cuadros donde está presente cada asociación.	113
Tabla 4.22.- Valores medios de las densidades de plantación correspondientes a los cuadros donde está presente cada asociación.	114
Tabla 4.23.- Valores medios de la formación de surcos correspondiente a los cuadros donde está presente cada asociación.	115
Tabla 4.24.- Rendimiento basado en la interacción marco de plantación x variedad.	118
Tabla 4.25.- Porcentaje de carbono y nitrógeno para las variedades autóctona dominicana y Cabo Verde del cultivo experimental y planta naturalizada.	122
Tabla 4.26.- Porcentaje de carbono y nitrógeno en hojas, tallos y raíces.	122
Tabla 4.27.- Porcentaje de carbono obtenido para la interacción variedad x órgano de la planta.	123
Tabla 4.28.- Porcentajes de carbono y nitrógeno en las especies <i>A. macracantha</i> y <i>P. juliflora</i> .	124
Tabla 4.29.- Valores de biomasa de plantas muestreadas al año y medio de edad en la plantación experimental.	125
Tabla 4.30.- Resultados de los parámetros determinados en el análisis inmediato.	127
Tabla 5.1.- Rendimientos de semilla en función de la edad de la plantación.	131
Tabla A.1.- Rendimiento obtenido por cuadro y variedad.	181
Tabla A.2.- Principales especies de cobertura arbórea del bosque de El Cigual.	185
Tabla A.3.- Listado de especies muestreadas en El Cigual y determinadas taxonómicamente.	185
Tabla A.4.- Ass. <i>Amaranthus viridis</i> – <i>Portulaca rubricaulis</i> (nova).	188
Tabla A.5.- Ass. <i>Bidens cynapiifolia</i> – <i>Boerhavia erecta</i> (nova).	188
Tabla A.6.- Ass. <i>Bidens cynapiifolia</i> – <i>Jatropha gossypifolia</i> (nova).	190
Tabla A.7.- Ass. <i>Amaranthus viridis</i> – <i>Momordica charantia</i> (nova).	190

1.- INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.

1.- INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.

1.1.- Fuentes actuales de energía y alternativas.

El modelo de vida establecido por el ser humano en muchas partes del planeta requiere de un alto consumo energético, hecho que junto al aumento demográfico, supone una fuerte demanda de fuentes energéticas. Dado que las reservas de petróleo son limitadas (Rajaona *et al.*, 2011), de continuar con esta tendencia (en la que se prevé que el consumo mundial de energía se incremente un 57% entre 2004 y 2030, principalmente por el desarrollo de los países con economías emergentes), estas se agotarían en un plazo de entre 50 y 100 años (Fernández, 2010). Es por ello que el rápido aumento de la demanda energética se ha convertido en un grave problema a nivel mundial, tanto para los países desarrollados, como para los que están en vías de desarrollo (Zhuang *et al.*, 2011).

Si bien la Tierra ha sufrido varias fases de calentamiento y enfriamiento a lo largo de su historia, en la actualidad, y debido a esta intensa actividad económica humana basada principalmente en el consumo de combustibles fósiles, derivan grandes cantidades de gases que se emiten a la atmósfera, contribuyendo y acelerando el calentamiento global del planeta. Este efecto, ha supuesto una de las principales razones por las que durante los últimos años ha aumentado la sensibilización de la sociedad hacia el entorno en el que habita.

Dada la limitación de reservas de energía fósil, el fuerte impacto que desarrolla sobre los grandes biomas y sobre el clima y el incremento de su precio, se hace necesaria la búsqueda de alternativas que mitiguen o solucionen estos problemas. Las prioridades en gran parte del sector energético se centran en el aumento de la eficiencia y desarrollo de las energías renovables que sustituyan (complementen) a los combustibles fósiles y otras fuentes de emisión de estos gases efecto invernadero (Pandey *et al.*, 2012). El desarrollo de las energías renovables no solo puede contribuir al suministro energético, sino también lograr beneficios económicos y ambientales (Wang, 2005).

1.- Introducción y objetivos

Dentro de este sector, la energía procedente de biomasa es la más versátil (Lin *et al.*, 2007). De las distintas clasificaciones que se podrían establecer, si se considera el estado físico, los biocombustibles (combustibles de origen biológico) pueden ser sólidos (astillas, paja, leña, etc.), gaseosos (biogás) o líquidos. Estos últimos, también denominados biocarburantes, se pueden dividir en dos grupos básicos; los alcoholes, procedentes de la fermentación alcohólica de cultivos ricos en almidón y/o azúcares, que son empleados como bioetanol para su mezcla con gasolina, y los aceites, formados por ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga (Knothe, 2006), y obtenidos a partir de especies oleaginosas, grasas animales, algas, o reciclaje de aceites usados (Lim y Teong, 2010), que pueden mezclarse o sustituir al diesel fósil y que, tras someterse a un proceso químico de acondicionamiento, es lo que se conoce como biodiesel. El 85% de la producción mundial de biocombustibles se encuentra en forma de bioetanol a partir de caña de azúcar y maíz, donde Brasil y Estados Unidos aportan el 87% de su producción mundial (FAO, 2008).

Además de poder mezclarse con el diesel fósil hasta un 20% sin requerir cambios en los motores actuales (Razón, 2009), al biodiesel se le atribuyen propiedades muy interesantes, como su biodegradabilidad, no toxicidad, o reducción de la emisiones globales con su uso (Silitonga *et al.*, 2011). Se pueden distinguir cuatro métodos diferentes de producción de este biocarburante a partir de aceites vegetales, como pirolisis/craqueo (cracking), dilución con hidrocarburos, emulsificación, y transesterificación (Pandey, 2008; Shahid y Jamal, 2008; Yusuf *et al.*, 2010; Silitonga *et al.*, 2011 citando a Koh y Ghazi, 2011).

El aprovechamiento de aceites vegetales como biocombustible no es reciente, pues a lo largo de la historia ya se realizaron varios intentos. No obstante, el desarrollo inicial de la técnica de transesterificación del aceite vegetal no se acometió para dichos fines, sino con el objetivo de obtener glicerina para fabricar jabón (Demirbas, 2008). Fue llevado a cabo por los británicos Duffy y Patrick a mediados de siglo XIX, años antes de que se pusiera en marcha el primer motor diesel.

A principios del siglo XX, Rudolph Diesel probó por primera vez el aceite de cacahuete (maní) en su motor de encendido por compresión (Parawira, 2010; Silitonga *et al.*, 2011). Esta podría haber sido la intención del autor cuando realizó el diseño del mismo; no obstante la mayor rentabilidad económica del combustible fósil frente a los biocombustibles derivó en una pérdida de interés general al respecto durante los siguientes años.

En 1937 el científico belga G. Chavane obtuvo una patente por la transformación de aceite vegetal para su uso como combustible, proponiéndose así el concepto de lo que hoy se conoce como biodiesel. Posteriormente, fue utilizado por primera vez en la segunda guerra mundial, ante la escasez de derivados del petróleo (Balat y Balat, 2008).

El proceso para la producción de combustible de calidad se completó en la segunda mitad del siglo pasado, y años más tarde, en 1989, la empresa austríaca Gaskoks estableció la primera planta de biodiesel a escala industrial. Durante los siguientes años, se emitieron las primeras normas del biodiesel, así como se propagó la construcción de plantas productoras.

Varios trabajos han concluido que el biodiesel tiene un inmenso potencial para formar parte de una mezcla energética sostenible en el futuro (FOE, 2006). Algunos países como Brasil, Canadá, China, Estados Unidos, Filipinas, India, Japón, Malasia, Tailandia o Taiwán van adoptando medidas de apoyo para su introducción, como exenciones de impuestos en su producción o mezcla con el diesel fósil, que suele ser del 5-20% (Ravindranath *et al.*, 2011; Silitonga *et al.*, 2011). Sin embargo, parece ser que el hecho de que esta mezcla e incorporación al mercado se haga de forma lenta y gradual, atiende más a los intereses geopolíticos y de los mercados, que a la viabilidad técnica para llevarla a cabo, dado que se han obtenido resultados satisfactorios empleando mezclas con porcentajes superiores, o incluso de 100% de biodiesel en motores de automóviles ligeramente adaptados, y hasta en algún vuelo comercial.

1.- Introducción y objetivos

Una de las ventajas más interesantes en la producción de biodiesel es la amplia gama de materias primas disponibles (Atadashi *et al.*, 2010). En la actualidad, los cultivos más empleados en el mundo para dichos fines son la colza y la soja. El aceite de esta última representa el 90% de la materia prima empleada para biodiesel en Estados Unidos, y también es la más cultivada en Brasil. Por su contenido en aceite y adaptación a climas fríos, la colza es la especie más explotada en países de Centroeuropa, mientras que el girasol lo es en España e Italia. La palma africana en Indonesia y Malasia, y el coco en Filipinas, podrían completar este listado de cultivos más convencionales (Fernández, 2010). La elección del cultivo para cada caso depende, entre otros, de la ubicación geográfica y consecuentemente del entorno agroecológico, de los mercados, de la situación política y socioeconómica del lugar, del ciclo biológico del cultivo, del rendimiento y rentabilidad, de las prácticas agronómicas locales, etc.

Existen otras especies, menos explotadas mundialmente, y mejor posicionadas en el ámbito bioenergético por su potencial, que suponen otra vía alternativa. Una de ellas es *Jatropha curcas* L. (*J. curcas* de ahora en adelante), objeto de la presente investigación, cuyo cultivo es emergente en Asia (sobre todo en China e India [Ravindranath *et al.*, 2011]), África y América. El aceite de sus semillas es, a diferencia del resto, no comestible.

Esta y otras especies oleaginosas como el ricino (*Ricinus communis* L.), sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.), camelina (*Camelina sativa* (L.) Crantz), moringa (*Moringa oleifera* Lam.), o neem (*Melia azadirachta* L.), entre otros, son consideradas en programas de investigación para los fines mencionados. Según algunos autores, la producción comercial de cultivos bioenergéticos debe ser una prioridad (Johansson *et al.*, 1999), pues no solo prometen una correlación armoniosa con el desarrollo sostenible, la seguridad energética y la preservación del medio ambiente, sino que también pueden proporcionar una recuperación de tierras residuales (Srivastava *et al.*, 2011). Teniendo en cuenta la duda que genera el impacto de dicha expectativa sobre la seguridad alimentaria y el medio ambiente, la disponibilidad e idoneidad del suelo para estos cultivos (incluido el de *J. curcas*) no puede darse por sentada (Jingura *et al.*, 2011), por lo que resulta

conveniente realizar, de forma previa a su explotación, estudios de sostenibilidad y del impacto que generan, así como poner en marcha parcelas experimentales con el fin de valorar su potencial y desarrollo.

Actualmente, *J. curcas* es una planta no domesticada (Nielsen *et al.*, 2013; Fallot y Palacios, 2014). A pesar del incremento de los estudios sobre esta especie durante los últimos 15 años, varios autores (Jongschaap *et al.*, 2007; Muys *et al.*, 2007; Rajagopal, 2007; Achten *et al.*, 2010) han apuntado que existen muchas lagunas en su conocimiento, ligadas sobre todo al material vegetal, manejo agronómico, impacto medioambiental y sostenibilidad, por lo que invitan a seguir investigando en las distintas líneas de trabajo existentes.

Además de candidata para lograr los beneficios energéticos, económicos y ambientales mencionados, la versatilidad que ofrece esta especie, la convierte en una alternativa agrícola interesante para el desarrollo de regiones rurales de países en vías de desarrollo y/o con fuertes economías emergentes, que se encuentren dentro del cinturón latitudinal que limita su cultivo.

Uno de estos casos es la República Dominicana, en la cual, muchas zonas rurales se caracterizan por una situación de pobreza y necesidad de migración hacia zonas urbanas o países extranjeros, ante la falta de oportunidades para prosperar (ONE, 2013). Por las condiciones climáticas de algunas de estas regiones, se localizan poblaciones silvestres de varias especies oleaginosas (entre ellas *J. curcas*), que podrían ser fuente de producción local para un autoabastecimiento energético, opción interesante si se tiene en cuenta que actualmente es un país importador de combustible (Peña *et al.*, 2007).

De este modo ofrece, principalmente por su situación socioeconómica y factores agroecológicos, unas condiciones interesantes para llevar a cabo un estudio potencial de *J. curcas* como cultivo energético.

1.- Introducción y objetivos

1.2.- *Jatropha curcas* L.

1.2.1.- Origen y ecología.

El origen exacto de *J. curcas* sigue siendo algo controvertido, aunque es muy probable que sea nativa de México y otros países de Centroamérica (Heller, 1996), como Belice, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua y Panamá (Orwa *et al.*, 2009). A través de las islas Cabo Verde, la especie fue propagada por los navegantes portugueses a África y Asia (Henning, 2000).

El género comprende unas 186 especies (PNOC-AFC, 2007; Govaerts *et al.*, 2012), en su mayoría nativas de América, si bien se han identificado hasta 66 como oriundas de África y Eurasia (Heller, 1996). Muchas de ellas son ampliamente cultivadas en los trópicos como linderos y cercados, o plantas ornamentales (Brittaine y Lutaladio, 2010).

J. curcas tiene una distribución pantropical. Su rango de cultivo se encuentra entre 30°N - 35°S (Jongscaap *et al.*, 2007), y es tolerante a distintos entornos agroecológicos, prosperando en una amplia gama de condiciones climáticas y edáficas. No es sensible a la duración del día, pues su floración es independiente de la latitud.

Se desarrolla mejor en alturas inferiores a 500 m, con una temperatura media anual óptima de 20-28 °C, y un rango de 18-40 °C. Posee un alto control de conductancia estomática y eficiencia de transpiración (Maes *et al.*, 2009; Achten *et al.*, 2010), lo que le confiere una cierta tolerancia a la sequía, pudiéndose cultivar en zonas áridas y semiáridas, con altas temperaturas y bajas texturas de suelo (Augustus *et al.*, 2002). Aunque puede sobrevivir con precipitaciones anuales de 250 mm, se requieren de al menos 600 mm para que se produzca la floración y cuajado del fruto. Las precipitaciones óptimas para su cultivo se cifran en 1000-1500 mm. Si bien es cierto que se ha observado su desarrollo con precipitaciones de hasta 3000 mm (Foidl *et al.*, 1996), estas cantidades originan condiciones favorables para la propagación y ataque de hongos, así como restricción del desarrollo radicular si se trata de suelos con mal drenaje. En concordancia

con esto, es de interés resaltar que la distribución actual del género muestra una introducción más exitosa en regiones más secas que en los trópicos húmedos (Fresnedo-Ramírez y Orozco-Ramírez, 2012). La mayoría de las especies del género están presentes en áreas estacionalmente secas, como pastizales de sabana, matorrales y bosque espinoso, estando ausentes por ejemplo, en regiones húmedas del Amazonas o de zonas de Centroamérica y México más cercanas a su origen.

Prospera en condiciones edáficas heterogéneas. Los suelos más aptos son los que presentan buena aireación y drenaje, como los arenosos, o incluso franco-arcillosos de al menos 45 cm de profundidad (Gour, 2006). Por el contrario, no tolera y es susceptible de sufrir asfixia radicular, por lo que suelos pesados, con altos contenidos de arcilla, son solamente apropiados en condiciones relativamente secas, en cuyo caso el cultivo podría ser muy productivo, debido a su contenido en nutrientes (FACT, 2009).

Es capaz de desarrollarse en suelos moderadamente sódicos y salinos (Mohibbe *et al.*, 2005). Aunque se adapta a los suelos alcalinos o ligeramente ácidos (pH 5-6), el pH más apropiado es de 6-8. Podría cultivarse en tierras improductivas, severamente degradadas (Jongschaap *et al.*, 2007), y dar altos rendimientos en semilla (Foidl *et al.*, 1996).

1.2.2.- Usos y rendimientos generales.

Además de materia prima para la producción de biodiesel, posee un amplio potencial de aplicaciones (Capstick, 2007; Wirawan, 2009). Con el fin de introducir con éxito un programa de *J. curcas* en zonas rurales, el uso eficiente de todos los productos y subproductos del cultivo podría ser clave, tal y como se ha identificado en algunas regiones de África (Gübitz *et al.*, 1999). Algunos de estos usos añadidos o complementarios y sus beneficios son:

- Control de la erosión del suelo (Openshaw, 2000; Henning, 2003; Reubens *et al.*, 2011) y capacidad de prevenir la desertificación (Estrin, 2009).

1.- Introducción y objetivos

- En planes de reforestación, dado que es una excelente alternativa en suelos degradados. En algunos trabajos (Wani *et al.*, 2012) se apunta que su cultivo aumentó la actividad microbiana y fertilidad, y mejoró las propiedades físicas del suelo.

- Como cerca viva, dada su toxicidad. En los trópicos suelen plantarse a una distancia de 15 a 25 cm (o hasta 50 cm) en una o dos filas, esto es, entre 4000 y 6700 plantas por km. Estas cercas no permiten el paso de animales dentro de las parcelas de cultivo (Arif y Ahmed, 2009). Se han reportado rendimientos de 0,8 Kg de semilla/m (Heller, 1996) y 2 Kg/planta (Henning, 2003) para esta modalidad.

- El aceite puede emplearse en las industrias de oleoquímicos (ácidos grasos, jabón, cosméticos, parafina, derivados nitrogenados grasos, tensioactivos, detergentes etc.) (Mohibbe Azam *et al.*, 2005; Akbar *et al.*, 2009; Balat, 2011).

- La torta de semillas, biomasa y la cápsula del fruto muestran una ganancia neta de energía (Prueksakorn y Gheewala, 2008), por lo tanto:
 - Puede emplearse como sustituto del queroseno y similares. Las semillas secas bañadas y cubiertas con aceite de palma, se pueden usar como antorchas.

 - La torta de semilla se puede utilizar para generar biogás (que se podría emplear localmente como combustible doméstico para cocinar) (Gübitz *et al.*, 1999; Vyas y Singh, 2007).

 - El pericarpio del fruto se puede emplear como combustible, o para la producción de biogás (Gübitz *et al.*, 1999). Junto a la cubierta seminal de la semilla, pueden ser empleados para una combustión directa.

- Aprovechamiento de la torta de semilla y/o pericarpio del fruto como abono orgánico, como se comentará en el capítulo de antecedentes.

- Uso del aceite como biocida (insecticida, molusquicida, fungicida o nematocida) (Gübitz *et al.*, 1999).
- Alimento. Sometiendo la torta de semilla a un proceso de detoxificación, podría emplearse como tal para ganado y aves, dados sus altos niveles de proteína (55-58%). En la variedad no tóxica de México, puede comerse las semillas después de hervirlas y tostarlas. Las hojas jóvenes pueden comerse al vapor o estofadas.
- Medicinal. El látex posee propiedades antibióticas contra bacterias y efectos coagulantes. Se puede aplicar directamente en heridas y cortes como antiséptico, y también para sarpullidos, quemaduras e infecciones de piel. También posee un alcaloide conocido como “jatrofina” con posibles propiedades anti-cancerígenas. Diversos preparados de la planta a partir de ramas, hojas y semillas se usan en medicina tradicional y como medicamentos en veterinaria por sus efectos diuréticos y purgantes, para estreñimiento, fiebres y dolores reumáticos.
- Soporte para otros cultivos, como la vainilla.
- Colorante. El exudado de la hoja tiñe de color rojo y la corteza tiene un 37% de taninos que otorgan una tonalidad azul oscuro. El látex también tiene un 10% de taninos. Pueden emplearse para colorear telas, redes de pesca, etc.

El rendimiento del cultivo oscila dependiendo de las condiciones de producción (Francis *et al.*, 2005), siendo la variedad, características del suelo, disponibilidad de agua, y prácticas culturales determinantes (Ravindranath *et al.*, 2011). En zonas con adecuada precipitación, la planta comienza a florecer al año (PNOC-AFC, 2007), con lo que la producción de semillas se inicia a los 12-18 meses, y alcanza su rendimiento máximo a los 4-5 años (Everson *et al.*, 2013).

Debido a la falta de conocimiento en aspectos ligados al material vegetal y cultivo de la especie, los rendimientos registrados en varios

1.- Introducción y objetivos

estudios se muestran muy dispares; Mientras en algunos trabajos se exponen rendimientos superiores a 6 Tm/Ha, en otros se registran inferiores a 1 Tm/Ha. En algún caso (Jingura, 2011) se ha concluido que los rendimientos superiores a 5 Tm/Ha solo pueden lograrse con un material vegetal de alta calidad y medio adecuado. De otras experiencias (Arif y Ahmed, 2009), se estimaron rendimientos potenciales de 0,2-2,5 Kg/planta en condiciones de secano y 0,5-5 Kg/planta en regadío. Los registros recopilados de otras fuentes se expondrán en el capítulo de antecedentes y posteriormente serán comparados con los obtenidos del ensayo.

1.3.- Objetivos.

La principal finalidad del trabajo es analizar la influencia de distintos factores agroecológicos que afectan al rendimiento en semilla del cultivo de *J. curcas* en condiciones áridas de la región caribeña. Para ello, se definen los siguientes objetivos parciales.

- Ensayar el cultivo en áreas marginales, con condiciones bioclimáticas límite de precipitación y humedad (bosque subtropical seco), y su grado de adaptación a las condiciones agroecológicas del medio.
- Desarrollar un diseño experimental, que refleje la influencia de distintos factores de crecimiento y producción en el rendimiento, partiendo de dos variedades.
- Determinar el aporte del cultivo a la tasa de fijación de CO₂ y su contribución a la reducción de emisión de gases.
- Evaluación de la productividad primaria de esta especie en comparación con la especie característica de la comunidad clímax de la serie de vegetación.
- Analizar la calidad del aceite.
- Verificar y valorar la influencia de las auxinas sobre la reproducción vegetativa (enraizamiento de las estacas).
- Determinar la flora y vegetación arvense del cultivo de *J. curcas* en la parcela experimental.
- Estudiar una posible influencia de los factores adoptados en el diseño experimental del cultivo de *J. curcas* sobre la distribución de la flora arvense.

2.- ANTECEDENTES

2.- ANTECEDENTES.

La primera vez que el cultivo de *J. curcas* despertó un gran interés fue durante la segunda guerra mundial, cuando la escasez local de combustibles fósiles condujo a una búsqueda de alternativas de producción. Posteriormente, debido al incremento de los precios del crudo, a finales del siglo XX se pusieron en marcha algunos proyectos en países en vías de desarrollo como Cabo Verde, India, Mali o Nicaragua, dando a lugar una etapa de investigaciones, pero la posterior bajada de los mismos congeló su continuidad. En 2008, el aumento del precio de los alimentos se justificó de forma popular apuntando que las especies bioenergéticas estaban sustituyendo a las alimenticias en las superficies de cultivo, y que por lo tanto, comenzarían a escasear los alimentos, lo que provocó un cambio en la opinión pública, que junto a las dudas que generó el cultivo de *J. curcas* por no cumplir las expectativas, y el inicio de la crisis mundial financiera, supuso un fuerte abandono de proyectos e investigaciones a partir de 2010. Incluso aquellos estudios que mostraron resultados prometedores fueron incapaces de recaudar fondos para continuar (Nielsen *et al.*, 2013).

Durante este periodo se incrementó tanto el área destinada al cultivo como el número de investigaciones sobre *J. curcas*. En 2008, la superficie mundial cultivada era de aproximadamente 900.000 Ha, localizándose más del 85% en Asia (principalmente en China, India, Indonesia y Myanmar), 12% en África (sobretudo en Madagascar, Mozambique, Tanzania y Zambia) y el resto (unas 20.000 Ha) en Latinoamérica, la mayoría en Brasil. Para el próximo 2015, se prevé que esta cifra ascienda a 12,8 millones de hectáreas (Gexsi, 2008). Estas plantaciones son regidas generalmente por instituciones públicas y privadas, y puntualmente por agricultores y pequeños campesinos. Por ello se pueden diferenciar plantaciones comerciales, piloto o experimentales, destinadas a la mejora genética, etc. Dada la perspectiva de que el cultivo de *J. curcas* suponga una contribución al desarrollo de zonas menos favorecidas, no es extraño que también participen organizaciones no gubernamentales sin ánimo de lucro.

2.- Antecedentes

Los primeros estudios sobre la aptitud bioenergética de *J. curcas* destacaron su explotación como una alternativa muy prometedora dentro del sector energético. Sin embargo, a medida que fueron sucediendo posteriores investigaciones, se hicieron eco de las dificultades y adversidades que plantea su establecimiento y manejo en campo, discutiendo su potencial y rentabilidad. La insuficiente tolerancia del cultivo a plagas y enfermedades, el coste de su control, o la necesidad de extraer mecánicamente la semilla del fruto son algunos aspectos reportados recientemente en Sudáfrica (Everson *et al.*, 2013). En esta línea, de otros estudios en Malasia se concluyó que el manejo de la especie requiere de las mismas labores que cualquier otro cultivo (Kalam *et al.*, 2012), y en la India se desestimaron rendimientos superiores a 1 Tm/Ha para plantaciones de 3 años, esto es, cifras muy distantes a las predichas (Rao, 2006).

El tiempo necesario para la entrada en producción del cultivo (Ariza-Montobbio y Lele, 2010), la falta de subsidios de gobiernos, poca difusión de la política de biocombustibles, carencia de contratos de compra de la cosecha o insuficiente conocimiento del manejo agronómico, se han mostrado como fuertes condicionantes para que algunos agricultores con bajos ingresos y que habitan en zonas de secano, opten por el cultivo de otras especies (Agoramoorthy y Patel, 2012). Algunos autores (Kant y Wu, 2009) incluso han apuntado que el cultivo no ha cumplido las expectativas previstas, y que por tanto su uso como biocombustible está colapsado.

A diferencia de los casos anteriores, otros trabajos, como los llevados a cabo en zonas rurales del África subsahariana (Eckart y Hensaw, 2012) si reportan resultados con éxito, destacando la importancia de encontrar terrenos aptos para el cultivo de *J. curcas* y que no sean adecuados para el cultivo de especies alimenticias.

Este podría ser uno de los factores que haya ocasionado la incertidumbre actual acerca del cultivo, debido a que gran parte de los proyectos ejecutados durante su auge, fueron promovidos en zonas no aptas, en las que además muchos agricultores no dispusieron de la información técnica necesaria para manejar el cultivo (Brittaine y Lutaladio, 2010;

Nielsen *et al.*, 2013). Ello ha llevado a resaltar la importancia de considerar las condiciones agroecológicas de forma previa a la explotación de la especie, y de hecho, existen estudios sobre la idoneidad de las condiciones agroecológicas para el cultivo (Jingura *et al.*, 2011 en Zimbabue) o la evaluación de tierras marginales con potenciales bioenergéticos (Zhuang *et al.*, 2011 en China). En otros trabajos se ha considerado más de la mitad del suelo en África como adecuado para el cultivo de *J. curcas* (Del Greco y Rademakers, 2008).

Probablemente las expectativas iniciales fueron un tanto desmesuradas e ilusorias, dando por sentados hechos no demostrados, y considerando que tan solo había que cultivar la especie para explotarla, cuando en realidad todavía se encuentra en una fase experimental (Nielsen *et al.*, 2013). Así se apunta en algunos trabajos (Jongschaap *et al.*, 2007), en los que se concluye que la obtención de altos rendimientos con bajas dosis de fertilización y pequeños aportes hídricos, o la tolerancia a plagas y enfermedades, entre otros, no están comprobados científicamente. Resulta necesario, por tanto, diferenciar estas exageradas previsiones otorgadas a la especie, de las demostradas científicamente (Brittaine y Lutaladio, 2010).

Las múltiples interrupciones que ha sufrido el estudio de *J. curcas* a lo largo de la historia han frenado la progresión en su conocimiento. Algunos aspectos tan básicos como el rendimiento o la vida útil son, a día de hoy, inciertos (Nielsen *et al.*, 2013), por lo que varios autores coinciden en indicar que el cultivo no se encuentra suficientemente estudiado, y apuntan la necesidad de seguir investigando para optimizar todos los procesos que se ven implicados en su aprovechamiento.

Tampoco existen muchos datos acerca del origen de las diferentes variedades y accesiones, por lo que esta falta de conocimiento del material vegetal deriva en una ausencia de semillas de calidad para su distribución (Fallot y Palacios, 2014) y explotación. En cualquier caso, mientras se palia esta escasez de información y se pretende la domesticación de la especie, parece claro que su cultivo puede contribuir al desarrollo rural en proyectos

2.- Antecedentes

a pequeña escala, dados los varios usos que ofrece (Jongschaap *et al.*, 2007).

En la actualidad, años después de las grandes perspectivas atribuidas a la especie, varias empresas privadas mantienen sus investigaciones en desarrollo (aunque a menor escala que anteriormente), e incluso en algunos casos, pequeños agricultores aumentan la superficie de cultivo, lo que pone de manifiesto que hay un nicho para *J. curcas* en el desarrollo local rural. Además de en algunos países en los que ya se obtuvieron buenos resultados, en Sudán se están planificando proyectos a gran escala (Nielsen *et al.*, 2013).

2.1.- Viabilidad.

El análisis del ciclo de vida del biodiesel obtenido a partir de *J. curcas* se ha mostrado como una herramienta fundamental para evaluar su viabilidad y sostenibilidad. Contempla todas las variables (entradas y salidas) que intervienen en la producción del mismo, como los precios del mercado, el impacto socioeconómico y medioambiental de las labores agrícolas y del proceso industrial, el aporte energético obtenido frente al invertido, etc. Dadas las diferencias de contexto según cada país o región, se dispone de trabajos para determinados territorios y/o sectores.

En valoraciones al respecto llevadas a cabo en la India, se observó que el uso del biodiesel (procedente de *J. curcas*) en el transporte en zonas rurales, ocasionó una fuerte reducción de la demanda de la energía no renovable, y una moderada reducción en el potencial del calentamiento global, si bien aumentaron los índices de eutrofización y acidificación de agua y suelo, respectivamente (Achten *et al.*, 2010). Para el mismo país, otros trabajos (Pandey *et al.*, 2011) concluyeron que el balance y ratio de energía neto es positivo, si bien es necesario mejorar toda la cadena productiva (técnicas de extracción, distribución logística de las plantaciones y la planta industrial, producción de fertilizantes, etc.).

En China (Wang *et al.*, 2011), se concluyó que a pesar de contribuir a la reducción de emisiones de carbono y tener un balance energético positivo, la producción de biodiesel a partir de *J. curcas* no era rentable por su alto coste. En Mali se valoró positivamente el uso del aceite como fuente del sistema de electrificación rural, dado que supone una alternativa de producción descentralizada de energía ante la falta de infraestructura de algunas zonas (Bouffaron *et al.*, 2012).

Existen más estudios de implantación y viabilidad alrededor del mundo, como en Malasia (Mofijur *et al.*, 2012), Pakistán (Chakrabarti *et al.*, 2012) o Tanzania (Eijck y Romijn, 2008), entre otros. La variación de los resultados obtenidos en los distintos análisis del ciclo de vida para cada situación, indica que no hay una respuesta general de si el desarrollo de *J. curcas* es sostenible. Ello depende, en gran medida, del uso anterior de la tierra, el manejo del cultivo, la eficiencia de procesamiento y el uso de productos y subproductos (Gmünder *et al.*, 2012), pero también de los mercados. A día de hoy, el coste de producción de los biocarburantes es superior al de importación del petróleo crudo, principal fuente energética.

2.2.- Aspectos ligados al manejo y productividad del cultivo.

Actualmente existen muchas lagunas en el conocimiento del verdadero potencial de *J. curcas*. Si bien el proceso de extracción y transformación del aceite está ampliamente investigado, se sabe poco acerca del manejo agronómico y el desarrollo de la planta en campo (Rajaona *et al.*, 2011). Si se ha demostrado que, independientemente del alto grado de adaptabilidad de la especie a diferentes condiciones agroecológicas, se requiere de adecuadas labores agrícolas y disponibilidad de agua y nutrientes en el suelo para lograr una buena productividad (Achten *et al.*, 2010; Veen, 2011).

Generalmente, los marcos de plantación más empleados para su cultivo son 2x2 m, 2,5x2,5 m y 3x3 m, o densidades que oscilan de 1100 a 3300 plantas/Ha (Openshaw, 2000). En cuanto a los requerimientos hídricos, las estimaciones existentes presentan una gran variabilidad, por lo

2.- Antecedentes

que se siguen realizando estudios que permitan un conocimiento más detallado (Maes *et al.*, 2009). Algunos registros sobre el consumo mensual varían de 10-20 mm en periodos de defoliación, a 140 mm según condiciones climáticas y disponibilidad de agua (Kesava Rao *et al.*, 2012). En otros trabajos llevados a cabo en Egipto (Abou Kheira y Atta, 2009), se registró un consumo semanal de 6 L/planta durante el periodo de desarrollo vegetativo.

Aunque en condiciones favorables puede aprovechar grandes cantidades de agua, la planta ha mostrado una fuerte resistencia a la sequía, por lo que su cultivo se considera una alternativa interesante en climas áridos y semiáridos. Dicha característica se debe a un fuerte control de conductancia estomática (Maes *et al.*, 2011; Díaz-López *et al.*, 2012; Sapeta *et al.*, 2013), que le otorga una alta capacidad de retención de agua y transpiración eficiente. En trabajos basados sobre este mecanismo, se observó que cuando el cultivo está sometido a condiciones de fuerte estrés, disminuye la actividad fotosintética (Pompelli *et al.* 2010), se restringe la asimilación de CO₂, se reduce el crecimiento de la hoja (mayormente en plantas pequeñas [Silva *et al.*, 2010]), y aumenta la actividad de la catalasa y la acumulación de prolina, azúcares solubles totales y aminoácidos (Moura dos Santos *et al.*, 2013). En estos casos, el sistema radicular profundiza poco (Krishnamurthy *et al.*, 2012).

Si bien la disponibilidad de agua es fundamental para un desarrollo satisfactorio del cultivo y elevada productividad, en estudios llevados a cabo considerando distintas dosis de riego, no se observaron diferencias estadísticamente significativas para parámetros como la densidad de los tallos (0,26 g/cm³ [Achten *et al.*, 2010]), o la composición de los ácidos grasos del aceite (Abou Kheira y Atta, 2009). En trabajos realizados en Sudáfrica, se observó que aunque la altura de la planta no se incrementó durante periodos invernales y secos, si lo hizo su diámetro basal, lo que podría deberse a la actividad fotosintética del vástago, verde todo el año (Everson *et al.*, 2013).

El aporte de agua mediante el riego podría ser la práctica más determinante para la productividad del cultivo. En trabajos realizados en la India (Gmünder *et al.*, 2012), se obtuvieron rendimientos de 0,4-0,6 Tm/Ha en secano (con condiciones de 1098 mm de precipitación, temperatura de 22-45 °C, y textura del suelo franco-arenosa), cifra que ascendió a 2-2,6 Tm/Ha cuando se irrigó el cultivo (192 L/planta y año).

La planta es sensible a la asfixia radicular (Gimeno *et al.*, 2012). Algunos autores han sugerido que en condiciones de excesiva humedad, la deficiencia de nitrógeno podría ser causante de los daños fisiológicos y bioquímicos (Yin *et al.*, 2012). Por otra parte, el cultivo se ha mostrado tolerante a la salinidad, pudiendo admitir hasta 30 mM (milimoles) de NaCl en fertirrigación (Díaz-López *et al.*, 2012) sin que se vea afectado su desarrollo.

En cuanto a la fertilización, la incerteza y variabilidad de los rendimientos dificulta el diseño de un programa de abonado. La información disponible sobre las necesidades de nutrientes es escasa, y en terrenos baldíos, casi inexistente. En una plantación de 4 años de edad cultivada en este tipo de suelos, se registraron 1290 Kg/Ha en parcelas sin abonar, valor que ascendió a 1610 Kg/Ha al aplicar 80 Kg/Ha de nitrógeno y 20 Kg/Ha de fósforo. Para este caso, 1 Tm de semilla extrajo 22 Kg de nitrógeno, 5 Kg de fósforo y 8 Kg de potasio por hectárea (Wani, 2013). En otros estudios (Gmünder *et al.*, 2012) se han obtenido buenos rendimientos al aplicar 200 g de nitrógeno, 120 g de fósforo, y 60 g de potasio por planta/año, junto con 200 propágulos de micorrizas/planta.

Relacionado con el abonado y la sostenibilidad del cultivo, y como se ha mencionado en el capítulo anterior, cabe destacar el uso de la torta resultante de la extracción de aceite como abono orgánico. Algunas de las referencias encontradas al respecto son:

- Posee un valor nutricional similar al de la gallinaza (Francis *et al.*, 2005), con una composición de 6, 2,75 y 0,94% para nitrógeno, fósforo y potasio, respectivamente.

2.- Antecedentes

- 1 Kg es equivalente a 0,15 Kg de fertilizante 40-20-10 (NPK) (Openshaw, 2000).
- 1 Tm es equivalente a 200 Kg de fertilización 12-24-12 (NPK) por hectárea (Henning, 2003; Del Greco y Rademakers, 2006).

La caída de las hojas también supone un retorno de nutrientes al suelo. Tanto estos aportes como los anteriores de la torta, pueden ser un aporte parcial de nitrógeno y fósforo en los programas de abonado. Incluso la aplicación de otros nutrientes como potasio, zinc, boro y azufre podría evitarse, dado que su contenido en la hoja es considerable. Como referencia, dicho retorno para una plantación de 3 años de edad podría estimarse en 21 Kg de nitrógeno, 2 Kg de fósforo y 23 Kg de potasio por hectárea (Wani, 2013).

J. curcas es sensible a la competencia (Arif y Ahmed, 2009; FACT, 2009; Everson *et al.*, 2013), por lo que eliminar las plantas arvenses de las parcelas de cultivo debe ser una actividad a considerar para alcanzar altos rendimientos. En algunos estudios (Mponela *et al.*, 2010) se sugiere que la diversidad de estas especies vegetales en las zonas marginales y degradadas está influenciada por el cultivo, sobretodo en los casos que se practique una agricultura intensiva, dado que se observó una disminución de algunas especies cuya presencia y distribución abundaban previamente al cultivo.

La comunidad arvense es un subecosistema trascendental que comprende múltiples factores que intervienen e interactúan dentro del cultivo como ecosistema agrícola. Esta es la principal motivación por la que se ha optado por dedicar un capítulo de esta investigación a su estudio. En climas tropicales, su control es una de las labores más comunes del cultivo. Las condiciones agroecológicas, destacando las elevadas temperaturas y los periodos de precipitación, originan un ambiente muy propicio para su propagación y desarrollo. Es por ello que, en aquellas zonas en que estos y otros parámetros se mantienen constantes, la germinación y desarrollo de esta vegetación se ve favorecida durante todo el año, lo que supone, sino

difícil, cuanto menos un constante control que representa una elevada incidencia en los costes totales de una explotación.

Desde el punto de vista antrópico, la vegetación arvense tiene un impacto negativo, dado que compite con el cultivo implantado por los recursos ecológicos del medio. Sin embargo, en algunos textos se invita a conocer más acerca de sus propiedades alimenticias, medicinales o alelopáticas, entre otras, para su aprovechamiento. Existen evidencias de que el hombre primitivo ya cultivaba junto con cereales, algunas plantas hoy consideradas arvenses, como *Avena fatua* L. o *Bromus sterilis* L. (King, 1966).

Los estudios fitosociológicos sobre la vegetación de la República Dominicana son escasos y resultan de difícil acceso. No obstante, a partir de los inventarios y estudios florísticos realizados hasta la fecha, se constata una amplia riqueza florística en el país, ya que en estos trabajos se han registrado hasta 201 familias, 1284 géneros y unas 6000 especies vasculares. Se estiman 31 géneros y aproximadamente 2050 especies endémicas, que suponen cerca del 34% de la flora insular (Mejía, 2006). Si bien la flora natural del Caribe y otros climas tropicales y subtropicales se ha estudiado y recogido en varias obras y textos, para el caso concreto de República Dominicana destacan “*Catalogus Florae Domingensis* (1943)” y “*La Flora de La Española* (1986-2000)”.

En cuanto a plagas y enfermedades, existen varios trabajos en los que se recopila los daños y el agente causal. Si bien todavía se desconocen medidas de control biológico, en estudios al respecto se sugiere que los métodos eficaces en otros cultivos también podrían serlo en *J. curcas* (Grimm 1999, Ramírez *et al.*, 2008).

La poda es la principal técnica para controlar el tamaño y estructura de la copa, y una de las más importantes en la productividad y rentabilidad del cultivo (Marini y Sowers, 2000). Existen algunas referencias relacionadas con la optimización del número de ramas; Trabajos en Madagascar (Rajaona *et al.*, 2011) sugieren conferir una estructura con

2.- Antecedentes

tronco corto y ramas laterales largas para obtener mayor biomasa, mientras que de experiencias en Tailandia (Suriharn *et al.*, 2011), se propone no podar cada año, y hacerlo el tercero del cultivo a 70 cm del suelo. En otros casos se aconseja podar a 30 cm del suelo (Behera *et al.*, 2010).

Otra vía de estudio sobre la especie está ligada a su propagación. La multiplicación de la planta por cultivo de tejidos *in vitro*, o la influencia de hormonas en la germinación de la semilla y enraizamiento de la estaca son aspectos tratados en varios trabajos, algunos de los cuales son mencionados posteriormente en el capítulo de discusión.

Avanzar en la mejora genética de la especie es una tarea fundamental para llevar a cabo su domesticación. En la actualidad, aunque ya se han desarrollado algunos híbridos, se sabe poco sobre el genoma de *J. curcas*, por lo que todavía se está lejos de obtener variedades que permitan explotar todo el potencial de la especie. Aunque no se han distinguido un gran número de variedades, lo cierto es que si existen múltiples accesiones, que pueden llevar a confusión sobre el material vegetal disponible. La mayoría de estas y su variabilidad se ha observado en lugares alrededor del origen de *J. curcas*, por lo que este material debería considerarse para llevar a cabo el mejoramiento genético (Veen, 2011).

La actual falta de conocimiento acerca del material vegetal y manejo del cultivo, junto a la capacidad de adaptación de la planta a diversas condiciones agroecológicas, ha derivado en que los rendimientos reportados hasta la fecha sean muy dispares. Además, en ocasiones estos valores no están acompañados de aspectos básicos como la edad del cultivo, tipo de suelo o condiciones agroecológicas, entre otros, por lo que resulta difícil establecer su comparación (Brittaine y Litaladio, 2010).

Aunque en varios países de Latinoamérica como Argentina, Brasil, Colombia o Perú se han puesto en marcha programas de investigación, la mayor cantidad de trabajos consultados se localizan en África y en Asia, en este último caso, sobretodo para la India.

Los mayores rendimientos reportados (recopilados en Eckart y Hensaw, 2012), han mostrado valores de 15 Tm/Ha para plantaciones adultas de más de 4 años de edad, y una densidad de plantación de 3030 plantas/Ha. Estos datos distan mucho de las cifras generalmente registradas, lo que no significa que no se puedan alcanzar. En Malasia, con un clima tropical cálido y húmedo, se registraron rendimientos de 0,25-1,25 Tm/Ha para el primer año, 1-2,5 Tm/Ha para el segundo, y hasta 6,25-7,5 Tm/Ha para el quinto (Lim y Teong, 2010). En Tailandia, con características climáticas similares, se registraron rendimientos de 794 Kg/Ha en plantaciones de un año de edad (Heller, 1996, citando a Stienswat *et al.*, 1986). En general, la mayoría de los rendimientos de una plantación adulta se muestran inferiores a 4 Tm/Ha y año, aunque en Mali, India y Nicaragua se han registrado valores de 8, 6,7 y 5 Tm/Ha y año, respectivamente (Achten *et al.*, 2008).

Si bien en zonas húmedas pueden alcanzarse rendimientos iguales o superiores a 5 Tm/Ha (Becker y Makkar, 1999; Ouwens *et al.*, 2007), los rendimientos potenciales para regiones semiáridas han sido estimados en aproximadamente 2,5 Tm/Ha (Achten *et al.*, 2008; Wiskerke *et al.*, 2010). Cantidades similares se han recopilado en trabajos llevados a cabo en países como Botsuana, Kenia, Mali, o Tanzania (Wicke *et al.*, 2011). En zonas con estas características climáticas, localizadas en Andhra Pradesh (India), se pronosticaron rendimientos algo inferiores, de 1 Tm/Ha (Wani *et al.*, 2008), y para el mismo país, en Nashik, con un clima tropical marcado por dos estaciones (húmeda y seca) se obtuvieron rendimientos inferiores a 1,25 Tm/Ha (Brittaine y Lutaladio, 2010, citando a Ghokale, 2008).

Según algunos estudios (Gour, 2006), valores superiores a 2 Kg/planta serían aceptables. Aunque en plantaciones con un manejo adecuado podrían obtenerse rendimientos de 4-5 Kg/planta a partir del 5º año (Vyas y Singh, 2007), en suelos pobres se estima un rendimiento potencial de 1 Kg/planta y año (Silitonga *et al.*, 2011, citando a Singh *et al.*, 2007).

2.- Antecedentes

La gran variabilidad de rendimientos reportados, y la falta de conocimiento acerca del manejo agronómico del cultivo supone, entre otros, que los rendimientos de *J. curcas* sean difíciles de predecir (Achten *et al.*, 2010; Srivastava *et al.*, 2011; Dyer *et al.*, 2012, Favretto *et al.*, 2012).

2.3.- El cultivo como alternativa a cultivos tradicionales.

Según varias fuentes recopiladas (en Silitonga *et al.*, 2011), la industria del biodiesel tiene y tendrá un impacto en la producción de alimentos, y apuntan que la creciente demanda de biocombustibles como materia prima ya ha contribuido a la subida de sus precios (Bates *et al.*, 2008). En la misma línea, otros autores (Gui *et al.*, 2008) han advertido que un incremento de esta tendencia sin una planificación adecuada podría causar una disminución de la disponibilidad de alimentos, que llevaría a un desequilibrio económico. Este tipo de impacto podría tener un mayor efecto en los países en vías de desarrollo, donde, por el menor costo de la mano de obra, podría favorecer la implantación de plantas bioenergéticas en detrimento de la producción de alimentos básicos de subsistencia (Worldwatch Institute, 2006; Peña, 2008).

Como alternativa al presunto escenario, se ha puesto en práctica el *intercropping*, esto es, el cultivo de especies con aprovechamiento alimentario, alternando o compartiendo superficie con el cultivo de *J. curcas* (u otras especies bioenergéticas). En experiencias en la India bajo esta modalidad, se observó un efecto sinérgico positivo entre esta especie y el cacahuete (maní), desarrollándose satisfactoriamente ambos cultivos, y registrando una mayor altura, diámetro del tronco y número de ramas en las plantas de *J. curcas* que cuando se cultivó sola (Singh *et al.*, 2007). Algunas especies como la calabaza, cebolla, chile, cúrcuma, frijol, girasol, guandul, lentejas, linaza, melón, pepino, plátano, sésamo o tomate, han sido consideradas como idóneas para esta práctica (Arif y Ahmed, 2009). En Sudáfrica, se probó el cultivo de *J. curcas* como candidato en sistemas silvopastoriles sin éxito (Andersson *et al.*, 2013), registrando bajos rendimientos y rentabilidad.

En la actualidad, más del 95% del biodiesel producido a escala mundial se obtiene a partir de aceite comestible. Por ello, el cultivo de especies con fines no alimentarios, tales como *J. curcas*, puede resultar una buena opción si se produce y procesa de manera sostenible (Rajagopal, 2007), lo que se cumple cuando se practica en tierras marginales o degradadas, pero resulta cuestionable cuando se cultiva en áreas fértiles, que podrían ser empleadas para cultivar especies alimenticias y otros cultivos de mayor rentabilidad (Achten *et al.*, 2007). Si bien en los países más industrializados, el interés por los biocombustibles se debe a la búsqueda de promover la seguridad energética y a mitigar la amenaza del cambio climático, en los países en vías de desarrollo tienen, además de estos, otros objetivos prioritarios como el desarrollo rural y la recuperación de tierras degradadas (Ravindranath *et al.*, 2011), que permitan desarrollar alternativas energéticas en zonas rurales que contribuyan a promover medios de vida sostenibles en esas regiones (Pandey *et al.*, 2012).

La demanda y consumo energéticos no están repartidos uniformemente por el planeta. Casi el 40% de la población mundial no tiene acceso a los recursos energéticos asequibles (Becker, 2009). En algunas de estas y otras zonas, el biodiesel se ha mostrado muy atractivo tanto para el sector del transporte (Demirbas y Demirbas, 2007), como en los poblados por su uso en motores estacionarios a fin de generar electricidad, para una bomba de agua, molino de granos, cocina, iluminación, etc. (Brittaine y Litaladio, 2010).

De acuerdo con ello, el biodiesel se percibe como un camino para salir de la pobreza en algunos países en vías de desarrollo (Silitonga *et al.*, 2011). Puede proporcionar nuevos incentivos para las inversiones en investigación y desarrollo agrícola, ofrecer una fuente de ingresos a los agricultores (Smeets *et al.*, 2007), y estimular vínculos con mercados de alimentos no existentes en la actualidad (FAO, 2008). De acuerdo con el protocolo de Kioto, y dada la capacidad de fijación de carbono de la biomasa, podría permitir que los créditos de dicho elemento fueran objeto de comercio con los países o regiones que no son capaces de gestionarlos (D'Silva *et al.*, 2004).

2.- Antecedentes

En muchas zonas del sur de África se están tomando medidas y realizando esfuerzos para incrementar la producción de biodiesel, en varios casos cultivando *J. curcas* como materia prima. En algunos estudios (Nielsen y De Jongh, 2009), apuntan que la mayoría de las investigaciones sobre *J. curcas* están enfocadas a la producción de biodiesel mediante su explotación a gran escala, por lo que optan por evaluar su cultivo y uso del aceite a pequeña escala y a nivel local, en actividades de la vida cotidiana de sus habitantes, como cercar parcelas agrícolas, elaboración de jabón, encendido de candiles y lámparas, obtención de biogás para la cocina o abono orgánico a partir de la torta, medicinal, etc.

Una de las ventajas de este sistema es que todo el procesamiento, y por lo tanto todo el valor añadido, se pueden mantener dentro de la zona rural o incluso del poblado (Henning, 2000). El sistema de obtención de aceite a partir de *J. curcas* puede integrarse en las economías locales, adaptarse a las necesidades de los habitantes, y ofrecer una opción de energía descentralizada y localizada, reduciendo así la dependencia de las comunidades rurales sobre los combustibles importados, aspecto muy a tener en cuenta, si se considera la falta de infraestructura y distancia de algunas de éstas a núcleos urbanos (Del Greco y Rademakers, 2008). Esta perspectiva ha sido apoyada por otros trabajos llevados a cabo en Kenia (Tomomatsu y Swallow, 2007), tras hacer referencia a la incertidumbre que genera la rentabilidad del cultivo a gran escala. En alguna ocasión (Wahl *et al.*, 2009), ya se ha sugerido su plantación como cerca viva para que los agricultores puedan aumentar sus ingresos con bajos riesgos.

De acuerdo con lo anterior, y considerando la improbabilidad de sustituir el cultivo de especies alimenticias por el de *J. curcas*, como se ha concluido en algunos estudios en Mali (Favretto *et al.*, 2012), sus diferentes usos le confieren un potencial para contribuir al desarrollo rural. Su aprovechamiento es muy interesante en áreas relativamente marginales, donde no llegan los avances tecnológicos en maquinaria ni se tiene acceso a infraestructuras o modernos servicios energéticos (Nielsen *et al.*, 2013).

Existen varios estudios acerca de la repercusión social que podría tener la implantación del cultivo en diferentes países. A fin de garantizar el equilibrio sostenible de producción de alimentos, forraje y biodiesel, es necesario identificar los suelos aptos para su explotación, de manera que se integre o introduzca a la agricultura tradicional, tal y como se ha concluido de trabajos en Zimbabwe (Jingura *et al.*, 2011). También se ha propuesto que los impactos locales y regionales del cultivo sean cuantificados en el programa de su explotación, con objeto de determinar el grado de aportación a una hipotética mejora socioeconómica (Findlater y Kandlikar, 2011).

Algunos autores (Yang *et al.*, 2012) han sugerido que para lograr la sostenibilidad del cultivo de *J. curcas*, no solamente se requiere de avances en su explotación agrícola e industrial, o estudio de la contribución medioambiental, sino que también debe considerarse la aplicación de políticas impulsoras, como subsidios o exenciones de impuestos. Lo que si parece certero para aquellos países que lo produzcan, es que con el biodiesel procedente del aceite de *J. curcas* se reducirá la dependencia de los combustibles fósiles y los costos de importación del petróleo crudo (Baroi *et al.*, 2010).

2.4.- Impacto ambiental. El cultivo de plantas bioenergéticas como alternativa frente al cambio climático.

Mitigar o revertir el calentamiento global es una tarea ampliamente aceptada a nivel mundial. Para lograrlo, se requiere reducir la cantidad de gases efecto invernadero, especialmente de dióxido de carbono [CO₂ de ahora en adelante] (Brittaine y Lutaladio, 2010). Con la quema de combustibles fósiles, y la deforestación, principalmente, se incorporan grandes cantidades de este gas a la atmósfera. Por ello, para el presente y futuro se plantea su sustitución por cultivos bioenergéticos, con los que cesaría la incorporación de CO₂. Mientras se use de forma simultánea ambas fuentes de energía, continuará el aumento de las concentraciones de este gas en la atmósfera.

2.- Antecedentes

El hecho por el que el balance de CO₂ sea neutro en el aprovechamiento de la biomasa, se debe a que la cantidad de gas emitida es la previamente captada por la planta en la fotosíntesis, con la fijación de carbono (Fernández, 2010). En cuanto al resto de gases, como compuestos volátiles, dióxido de azufre, hidrocarburos no quemados, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, plomo, etc., parece claro que con el uso de biocombustibles se reduce su emisión en los motores de combustión (Camps y Marcos, 2008), así como también el ruido (Mofijur *et al.*, 2012). En otros estudios (Murugesan *et al.*, 2009; Xue *et al.*, 2011) coinciden en esto para los hidrocarburos y monóxido de carbono, pero apuntan que se producen mayores emisiones de óxidos de nitrógeno. En algunos trabajos se ha registrado una reducción del 8-88% al emplear el biodiesel producido a partir de *J. curcas* (Gmünder *et al.*, 2012).

No obstante, el impacto de la producción de biocombustibles sobre el calentamiento global continúa en debate. Esto se debe principalmente a que la conversión de hábitats naturales en tierras de cultivo libera CO₂ como resultado de la quema o descomposición microbiana del carbono orgánico almacenado en la biomasa vegetal y el suelo, cuya cantidad es aproximadamente 2,7 veces superior a la de la atmósfera (Fargione *et al.*, 2008).

Un problema con la producción de biocombustible es que a menudo requiere grandes extensiones de tierra (Parfit, 2005). La deforestación de grandes superficies para implantar estos cultivos podría crear un impacto negativo, y contribuir a la deuda de carbono (Ndong *et al.*, 2009), que con el tiempo, podría pagarse si en la producción y combustión de estos biocombustibles, las emisiones netas de gases efecto invernadero son menores que las emisiones pertenecientes al ciclo de vida de los combustibles fósiles a los que desplazan.

Algunos autores (Fargione *et al.*, 2008) apuntan que la conversión de bosques tropicales, turberas, sabanas o pastizales para producir biocombustibles a partir de especies alimenticias, libera de 17 a 420 veces más dióxido de carbono que las reducciones de los gases de efecto

invernadero anuales que estos biocombustibles proporcionarían al desplazar a los combustibles fósiles. No obstante, matizan que los biocarburantes producidos a partir de biomasa residual o cultivada mediante especies perennes en tierras agrícolas degradadas y/o abandonadas, podrían incurrir poca o ninguna deuda de carbono, y ofrecer ventajas más claras respecto a la emisión de estos gases.

Evaluar las consecuencias ambientales que derivan de la producción de biodiesel a largo plazo es complejo. Esta valoración varía, entre otros, en función del escenario en que se lleve a cabo, dado que las reducciones de las emisiones de CO₂ dependen de la fuente de la materia prima, y de los procesos de producción y usos alternativos de la tierra donde se promueve, sobre todo si la tierra ha sido previamente boscosa (Rajagopal, 2007). En la bibliografía es posible encontrar varios estudios acerca del impacto y contribución ambiental del cultivo de *J. curcas*, con diferentes resultados según las condiciones de estudio.

En algunos trabajos (Nielsen y De Jongh, 2009; referenciando a Vang, 2009), apuntan que si se elimina un bosque primario para implantar el cultivo de *J. curcas*, la deuda de carbono podría requerir de hasta 1900 años de cultivo para ser compensada, plazo cifrado en 76-310 años en otros trabajos realizados en hábitats diferentes (Achten y Verchot, 2011). En un ambiente semiárido de la India (Bailis y McCarthy, 2011), se calculó el pago de la deuda provocada por la conversión de bosques de *Prosopis juliflora* en cultivo de *J. curcas* para un periodo de 10-20 años. En trabajos realizados en el desierto de Egipto (Basili y Fontini, 2012), se apuntó que el aumento de esta deuda por la conversión de suelos marginales o localizados en zonas semiáridas es, al menos, cuestionable.

La cantidad de carbono fijada por el cultivo depende de la biomasa de este (Basili y Fontini, 2012). En la bibliografía se pueden encontrar varias referencias acerca de la capacidad de fijación de CO₂ que puede brindar *J. curcas*. Algunas de ellas son:

2.- Antecedentes

- 6 Kg CO₂/planta, en cultivos de 6-7 años de edad en Guantánamo [Cuba] (Sotolongo *et al.*, 2007)
- 5,5 Tm CO₂/Ha y año (Achten *et al.*, 2009)
- 10 Tm CO₂/Ha y año (Arif y Ahmed, 2009; Sudhakar *et al.*, 2012)
- 540 Kg CO₂/Ha y año (Jingura, 2011)
- 7-8 Kg CO_{2eq}/L (Wang *et al.*, 2011)
- 3-4,8 Tm CO₂/Ha para la parte aérea, y 6-11,9 Tm CO₂/Ha para el sistema radicular (Rasmussen *et al.*, 2012)
- 2,44-3,07 Kg C/planta, en cultivos de 4 años de edad localizados en Kothlapur y Patancheru [India] (Wani *et al.*, 2012)
- 67,1-102,8 Tm CO_{2eq}/Ha para un periodo de 20 años (Achten *et al.*, 2013).

Otra vía de investigación en este ámbito es el desarrollo de modelos alométricos, que mediante ecuaciones de regresión, puedan estimar la biomasa del cultivo (Makungwa *et al.*, 2013) y por tanto la fijación de CO₂. Algunas de estas expresiones son $W = 0,029 \times BD^{2,328}$ (Achten *et al.*, 2010) o $W = 0,000907 \times BD^{3,354}$ (Ghezehei *et al.*, 2009), donde W es la biomasa estimada en gramos, y BD el diámetro basal en mm. A pesar de que esta última variable se ha mostrado una de las más aceptadas, existen otros modelos que incluyen otras como el diámetro a la altura del pecho o la altura de la planta. Del mismo modo, también existen otros estudios para definir el ratio en volumen y peso existente entre la parte aérea y el sistema radicular, con la finalidad de estimar la biomasa total, en lo que se conoce como métodos no destructivos.

Además del carbono atmosférico, el contenido de este elemento en el suelo también tiene un papel decisivo en el balance ambiental. De estudios llevados a cabo en Mozambique se estimó que en la conversión de bosques en plantaciones de *J. curcas*, el porcentaje de carbono en el suelo podría reducirse hasta la cuarta parte (Rasmussen *et al.*, 2012). Añaden, sin embargo, que el aporte ocasionado por las hojas que caen de la planta, restos de poda, así como la aplicación de la torta de la semilla tras la extracción de aceite, suponen cantidades considerables.

De trabajos realizados en Kothpalur (Andra Pradesh, India), con 800 mm de precipitación y marco de plantación de 2x3 m, se concluyó que durante el primer año del cultivo cayeron 550 g de hoja por planta, lo que supuso un aporte de 305 Kg C/Ha al suelo. Para una plantación de 3-5 años de edad, la contribución de carbono por la biomasa de la planta en campo fue de 5120 Kg de C_{eq} /Ha, más 800, 150 y 495 Kg de C/Ha por el aporte al suelo debido a la caída de las hojas, restos de poda y aplicación de la torta de semilla tras la extracción de aceite, más 230 Kg de C/Ha por la sustitución del uso de combustible fósil por el aceite extraído (Wani *et al.*, 2012).

Existen estimaciones de los rendimientos necesarios para pagar la deuda de carbono ocasionada por la implantación del cultivo de *J. curcas*. En algunos trabajos se han considerado rendimientos anuales de 8,6-13,9 Tm semilla/Ha para pagar dicha deuda en un periodo de 30 años, por lo que, teniendo en cuenta los rendimientos actuales del cultivo, para el caso de los bosques esta deuda no se pagaría en una generación humana. Para el caso de los matorrales, sin embargo, podría ser un reto factible (Wani, 2013).

Ese mismo plazo de tiempo ha sido considerado en estudios llevados a cabo en el Sur de Asia, donde se requeriría un rendimiento de 3,1-4,6 Tm semilla/Ha y año para pagar dicha deuda (5,5-8,1 Tm semilla/Ha y año para un plazo de 15 años), así como en la sabana tropical de Sudamérica, donde se requerirían 5,8 Tm semilla/Ha y año (para 15 años se requerirían unas 10,8 Tm semilla/Ha y año). Para el África subsahariana, la conversión de suelos de estepa árida y zonas templadas con estaciones secas calientes no daría lugar a una deuda de carbono (Achten *et al.*, 2013).

Aunque las estimaciones se muestran variables para cada caso, parece claro que el cultivo de especies bioenergéticas adquiere un mayor beneficio ambiental en lugares con un bajo contenido en carbono, esto es, suelos en condiciones degradadas, frente a bosques con un sustancial contenido de carbono orgánico en el suelo. Por ello, en algunos estudios (Romijn, 2011) se sugiere aclarar conceptos como "tierras degradadas" y "tierras baldías", a fin de definir con minuciosidad los criterios de idoneidad

2.- Antecedentes

del terreno para el cultivo, y por tanto calcular la emisión de gases causada por la producción y uso de los biocombustibles.

Del mismo modo que el resto de cultivos, el manejo agronómico y la eficiencia de los recursos empleados son aspectos cruciales para minimizar el impacto ambiental que genera su explotación, como la acidificación del suelo y/o atmósfera, la toxicidad de los productos fitosanitarios, o la eutrofización de las aguas, entre otros. En un estudio sobre el impacto que ocasiona la obtención de biodiesel a partir de *J. curcas* (Jingura, 2011), se observó que alrededor del 30% de la cantidad de CO₂ que se genera en el proceso se debe a la fabricación de los fertilizantes empleados en el abonado, y alrededor del 26% a la irrigación. Frente a estos tipos de impacto derivados de las distintas prácticas agrícolas, algunos autores (Silitonga *et al.*, 2011) han resaltado la capacidad de fijación de nitrógeno de la especie y las grandes cantidades de oxígeno que genera de nuevo a la capa de ozono.

3.- MATERIAL Y MÉTODOS.

3.- MATERIAL Y MÉTODOS.

3.1.- Descripción de *Jatropha curcas* L.

J. curcas pertenece a la familia de las euforbiáceas. El nombre del género deriva del griego *jatrós* (médico) y *trophé* (alimento) (Heller, 1996). Se desconoce el significado del término *curcas*, que fue empleado por primera vez hace 400 años en un trabajo de plantas medicinales indias publicado por el doctor García de Orto (Orwa *et al.*, 2009).

3.1.1.- Taxonomía.

La especie también ha sido determinada bajo los siguientes sinónimos: *Castiglionia lobata* Ruiz & Pavon, *Curcas adansoni* Endl. ex Heynh., *Curcas curcas* (L.) Britton & Millsp., *Curcas indica* A. Rich., *Curcas purgans* Medik., *Jatropha acerifolia* Salisb., *Jatropha edulis* Cerv., *Jatropha yucatanensis* Briq., *Ricinus americanus* Miller, *Ricinus jarak* Thunb. (Heller, 1996).

Se le asignan varios nombres vernáculos. Algunos de los más empleados son: *jarak budég* (Indonesia), *kanananaeranda*, *parvataranda* (India [sánscrito]), *physic nut*, *purging nut* (Países de habla inglesa), *pinhão manso*, *mundubi-assu* (Brasil), *piñol* (Perú), *piñón purgante*, *piñón*, *piñón vóci*, *piñón lechero*, *piñón botija*, *pinon*, *pinol*, *piñón criollo* (Varios países de habla hispana), *piñoncillo* (México), *purgeerboontjie* (Sudáfrica, Namibia, Botsuana, [afrikáans]), *sabudam* (Tailandia), *safed arand*, *bagbherenda*, *jangliarandi* (India [hindi]), *yu-lu-tzu* (China) (Heller, 1996; Orwa *et al.*, 2009; Brittain y Lutaladio, 2010).

Fue descrita por primera vez en 1753 por el botánico sueco Carl Linneo (PNOC-AFC, 2007), prevaleciendo en la actualidad su encuadre taxonómico.

Tras lo observado en campo, y de acuerdo con la compilación realizada a partir de otros autores (Heller, 1996; Openshaw, 2000; Henning, 2003; Vyas y Singh, 2007; Arif y Ahmed, 2009; FACT, 2009; Orwa *et al.*,

3.- Material y métodos

2009; Siang, 2009; Brittain y Litaladio, 2010; Divakara *et al.*, 2010; Uriarte, 2010; Balat, 2011; Koh y Ghazi, 2011; Kumar y Sharma, 2011; Pradhan *et al.*, 2011), *J. curcas* es un arbusto (nanofanerófito) perenne, de 35-50 años de vida, que generalmente mide 3-5 m de altura, aunque puede alcanzar 7-10 m en condiciones muy favorables. El tronco es recto, de unos 20 cm de grosor, y posee una corteza fina y suave de color verde grisáceo, que se deteriora y pela. De crecimiento simpódico, la planta se ramifica desde la base, dando lugar a ramas laterales, glabras, ascendentes y corpulentas, que forman la copa ancha e irregular. Los tejidos vasculares de los tallos y ramas contienen un abundante látex acuoso translúcido, que es exudado.

Las hojas son simples, alternas, tri, penta o heptalobuladas, con senos laterales poco profundos, y márgenes enteros o ondulados. Son lisas y acorazonadas, pues tienden a ser cordiformes con extremo agudo. La base es profundamente cordada, con un seno peciolar en forma de V. El peciolo tiene una longitud oscilante entre 5-25 mm. Suelen tener un tamaño de 10-17 cm de longitud y 6-15 cm de anchura, aunque también es común observar iguales proporciones para los dos caracteres. De color granate inicialmente, se torna a verde amarillento que cambia a verde oscuro al madurar. El verde del haz es más oscuro que el del envés, siendo ambos lados glabros o este último con pelos finos sobre la venación reticulada. El tamaño y forma de la hoja podría variar de una variedad a otra.

Es una planta monoica, raramente se observan flores hermafroditas. Las inflorescencias, con paracladios, están insertadas en las axilas de las hojas, y son terminales, localizándose en el ápice de cada rama. Están formadas por pequeñas flores de color verde-amarillento (6-8 mm) que se desarrollan en cimas. En el androceo, 10 estambres se disponen en dos verticilos distintos de cinco cada uno. En el gineceo, los tres estilos bífidios son connados cerca de dos tercios de su longitud. Las flores femeninas se localizan en el ápice de la inflorescencia, y tienen una longitud superior a las masculinas. La cima está compuesta por muchas más flores masculinas que femeninas. El ratio promedio (f:m) es de 1:29 pero debido a la alta

variabilidad puede oscilar de 1-5 a 25-93 (Solomon Raju y Ezradanam, 2002).

Tiene una polinización entomófila. Cada racimo está formado por 10 o más frutos. Se trata de una especie alógama, pues generalmente acontece la polinización cruzada, debido a que las flores masculinas desprenden el polen antes de que las flores femeninas de la misma planta estén abiertas y receptivas.

El fruto es una capsula elipsoidal trilocular dehiscente que alberga 3 semillas (una en cada lóculo), las cuales maduran por completo aproximadamente a los 3 meses de la floración. El epicarpo tiene un color verde tras el cuajado y permanece fresco hasta la maduración, cambiando progresivamente de amarillo hasta marrón oscuro. Su tamaño oscila entre 2,5-4 cm de longitud y casi 3 cm de anchura.

Las semillas son ovoides, de color negro y carúncula pequeña, generalmente de 2 cm de longitud y 1 cm de anchura. Su peso seco suele variar entre 0,6-0,8 g. Tiene un contenido en aceite aproximado del 30-35%, según el material vegetal y el método de extracción. Contiene toxinas, como ésteres de forbol, curcina, inhibidores de tripsina y lectinas (PNOC-AFC, 2007).

En cuanto al sistema radicular, de cada semilla suelen desarrollarse 5 raíces principales, esto es, una central pivotante (que puede tener una profundidad de hasta 5 m [Wicke *et al.*, 2011]) y cuatro periféricas, además de muchas otras raíces secundarias que componen la cabellera. En la propagación por estaca, no se forma la raíz central principal.

3.1.2.- Fenología.

El desarrollo vegetativo y avance fenológico tiene lugar durante el periodo de lluvias. Si bien es una especie perenne, durante la época de sequía sufre defoliación, más o menos intensa, según el clima. Cultivada en zonas húmedas y otras condiciones favorables, generalmente se aprecian

3.- Material y métodos

dos picos de mayor producción, e incluso puede florecer durante todo el año. En condiciones más adversas, de mayor sequía, la floración y posterior fructificación se producen durante los periodos de mayor humedad.

3.1.3.- Variedades.

Existe cierta variación genética entre plantas procedentes de distintas regiones geográficas, la cual es mayor en Centroamérica y la región norte de Sudamérica, esto es, su zona de origen (FACT, 2009).

En general, se distinguen tres variedades (Brittaine y Lutaladio, 2010):

- Cabo Verde, que se encuentra comúnmente en África y Asia.
- Mexicana, que se distingue por su semilla menos tóxica o no tóxica. En este último caso, se puede utilizar para el consumo humano después de tostarlas (Henning, 2003).
- Nicaragüense, con frutos más largos pero en menor número por racimo.

En algunos trabajos (Makkar *et al.*, 1998), se compara sus diferentes características físico-químicas, y además se describe una cuarta variedad, procedente de Nigeria. En general, aunque en la bibliografía el número de especies es el indicado, se referencian varias accesiones, no asociadas a ninguna variedad en concreto, lo que es una muestra de la necesidad de conocer más detalladamente el material vegetal de la especie.

3.2.- Biología reproductiva.

Puede reproducirse por semilla, estaquillado o cultivo de tejidos *in vitro*. La semillas suelen enterrarse a 2-4 cm de profundidad con la carúncula hacia abajo. En condiciones aptas germinan en 6-15 días.

El estaquillado también supone una técnica muy propicia para propagar *J. curcas*. Es el método más empleado por los agricultores de países tropicales que la usan como cerca viva. Desde los primeros estudios, ya se observaron diferencias en el comportamiento de las estacas según su altura y diámetro, observando que las estacas de al menos 3 cm de grosor dan inicialmente mayores y más precoces rendimientos que las plantas obtenidas a partir de semilla, si bien se observan pocas o ninguna diferencia en las siguientes cosechas (Heller, 1996).

Este hecho junto a la uniformidad genética de los esquejes son las sustanciales ventajas frente a la propagación por semilla. A pesar de ello, se observan grandes diferencias de tamaño y forma en plantas procedentes de estacas de la misma planta madre. Ello se debe a la sensibilidad a ciertos microfactores edáficos. Por otra parte, las principales desventajas se encuentran en mayores costos, debido a la preparación, transporte y plantación de las estacas, y en la ausencia de formación de la raíz principal pivotante, tal y como se ha apuntado antes, de modo que la planta es menos estable frente a fuertes vientos, y tiene menor capacidad para obtener el agua del suelo y las reservas de nutrientes, lo que correspondería a obtener rendimientos inferiores, aunque esto todavía no ha sido demostrado (Brittaine y Lutaladio, 2010).

Se realiza una prueba de propagación por semilla y por estaca.

3.2.1.- Por semilla.

De acuerdo con la International Seed Testing Association (ISTA, 2006), se realizan 4 repeticiones de 100 semillas para cada variedad. El ensayo se lleva a cabo en el vivero de Padre Las Casas (República Dominicana), en alveolos de 220 cm³ rellenos con sustrato compuesto por una mezcla de compost vegetal y cáscara de cacahuete (maní) en proporción 4:1, y cubiertos por una malla que permite el paso del 60% de luz. Previo a la siembra, las semillas se mantienen en agua 24 horas. Se siembra una semilla por alveolo, y se irriga todos los días. Se instala una sonda termohigrométrica (Onset Hoboware® Pro v2, ©Onset HOBO, Bourne, Estados Unidos) que registra temperatura y humedad relativa cada 2 horas.

3.- Material y métodos

3.2.2.- Vegetativa.

Se estudia la influencia de hormonas (ácido indol-3-butírico [IBA]) aplicadas a concentraciones de 2,5, y 5 mg/L sobre el enraizamiento de las estacas de *J. curcas* de ambas variedades.

El tamaño de la muestra es de 120 estacas, esto es, 20 estacas/variedad y concentración. El ensayo se lleva a cabo en los invernaderos del Centro de Conservación y Mejora de la Agrobiodiversidad Valenciana (COMAV) de la Universitat Politècnica de València, donde se instala una sonda termohigrométrica (Onset Hoboware® Pro v2, ©Onset HOBO, Bourne, Estados Unidos) a fin de registrar las condiciones de temperatura y humedad relativa con una frecuencia de 2 horas. En primer lugar, para la obtención de las plantas a partir de las cuales se cortan las estacas, se siembran semillas de ambas variedades (recolectadas en la parcela experimental, y previamente mantenidas en agua 24 horas) en macetas ($\phi=15$ cm; $h=15$ cm), sobre un sustrato compuesto por una mezcla de suelo arenoso, arcilloso, y sustrato vegetal (2:1:1). Se irriga 3 veces por semana.

Cuando los tallos alcanzan la altura y grosor adecuados, se cortan (recto, sin bisel) para formar una estaca por planta. La parte inferior de las estacas se sumerge en la disolución correspondiente durante 24 horas, y se colocan en lechos compuestos por una mezcla de sustrato vegetal y arena de playa (1:1) lavada abundantemente para impedir problemas de salinidad.

Los lechos, de 13 cm de profundidad, se disponen sobre bandejas agujereadas para facilitar el drenaje, quedando las estacas con un marco de plantación de 8,5x11,5 cm. El ensayo se realiza en un espacio luminoso, provisto de una malla para evitar la insolación directa. Se realizan riegos diariamente, así como aportes de agua pulverizada para mantener las condiciones de humedad.

3.3.- Diseño experimental. Cultivo de *Jatropha curcas* L.

3.3.1.- Planteamiento del estudio. Factores de desarrollo.

Se establece un diseño experimental multifactorial, para estudiar y analizar la influencia de distintos factores de manejo y de desarrollo que afectan al rendimiento en peso de semilla. Se consideran las respuestas de 2 variedades frente a abonado, altura de surcos, escarda y marco de plantación. En cada uno de ellos, se establecen 2 alternativas (niveles), que reflejan la variabilidad para cada uno (Tabla 3.1). Las variedades consideradas son Cabo Verde y una autóctona dominicana. El fertilizante a emplear es 16-8-8-5S (NPK). En el caso de la escarda, se refiere a la eliminación de las plantas arvenses con dos frecuencias distintas. En cuanto a los marcos de plantación, la distancia entre filas se mantiene en todos los casos a 3 metros para permitir el paso de aperos.

Tabla 3.1.- Factores y niveles considerados en el diseño experimental.

Factor	Unidades	Nivel Bajo	Código	Nivel Alto	Código
Abonado (16-8-8-5S)	Kg/Ha	100	A1	150	A2
Altura surco	cm	0	S1	30	S2
Escarda	frecuencia	Baja	E1	Alta	E2
Marco plantación	m x m	2,5x3	M1	3x3	M2
Variedad	-	Autóctona	V1	Cabo Verde	V2

El diseño se crea mediante aplicación de un software estadístico (Statgraphics® Centurion XVI, ©Statpoint Technologies Inc., Warrenton, Virginia, Estados Unidos), asignando un orden aleatorio a los tratamientos, cada uno de los cuales queda establecido por la combinación de los niveles correspondientes a los factores mencionados. Por lo tanto, se consideran 16 combinaciones (Tabla 3.2). Para su análisis y validación estadística, cada una se repite en 6 ocasiones, requiriéndose un total de 96 cuadros para desarrollar el diseño experimental. Dentro de cada uno de los cuadros se cultivan las dos variedades (V1 y V2).

3.- Material y métodos

Tabla 3.2.- Tratamientos establecidos por la combinación entre niveles de los factores adoptados.

Tratamiento	Cuadros en que aplica	Marco plantación	Abonado	Escarda	Altura surco
1	1,22,36,54,69,88	M1	A2	E1	S1
2	2,17,44,52,74,85	M2	A2	E1	S1
3	3,28,43,51,79,86	M1	A2	E2	S1
4	4,21,48,55,65,90	M2	A1	E2	S1
5	5,32,39,62,75,93	M2	A1	E1	S2
6	6,20,34,63,71,96	M1	A1	E1	S1
7	7,31,35,50,67,87	M1	A1	E1	S2
8	8,26,47,59,80,94	M2	A2	E1	S2
9	9,25,38,57,70,81	M2	A2	E2	S1
10	10,30,45,61,66,92	M1	A1	E2	S2
11	11,27,42,64,76,84	M1	A1	E2	S1
12	12,19,40,58,68,91	M1	A2	E1	S2
13	13,18,46,53,78,95	M1	A2	E2	S2
14	14,29,41,60,77,82	M2	A2	E2	S2
15	15,24,37,56,72,83	M2	A1	E2	S2
16	16,23,33,49,73,89	M2	A1	E1	S1

3.3.2.- Área de ensayo.

La parcela experimental se sitúa en el paraje de El Cigal (18° 42' 47,88" N, 70° 58' 48,36" O, 445 m.s.n.m.) municipio de Padre Las Casas, en la provincia de Azúa de Compostela, zona suroeste de la República Dominicana (Fig. 3.1), que fija unas condiciones límites agroclimáticas para el cultivo por su clima árido.

La aplicación del diseño experimental se realiza en convenio y colaboración con Globasol Biofuel Internacional S.L. y Fundación Sur Futuro Inc., respectivamente. Es, en compromiso con los criterios y objetivos establecidos por esta alianza, que la elección de esta zona responde, aún sin ser adecuada desde el punto de vista bioclimático, al conjunto de circunstancias y condiciones que desde el punto de vista social y estratégico presenta. La proximidad a la población de El Cigal es un factor decisivo por las posibilidades de integrar a una población desfavorecida en actividades agrícolas. La principal actividad desempeñada

en esta comunidad y alrededores se centra en la agricultura de subsistencia y ganadería y, ocasionalmente, en la construcción y servicios.



Fig. 3.1.- Localización del área del desarrollo experimental.

3.3.3.- El medio físico y sus características agroecológicas.

3.3.3.1.- Clima.

Los datos climáticos se obtienen de los registros del observatorio más cercano, Padre Las Casas ($\approx 4,5$ Km). Recopilados y elaborados por la Oficina Nacional de Meteorología de la República Dominicana (ONAMET), estos datos son contrastados con los extraídos en la propia finca mediante la colocación de un pluviómetro y una microestación (Onset Hoboware® Pro v2, ©Onset HOB0, Bourne, Estados Unidos) durante el año 2011. Para el primer caso la lectura se realiza diariamente, mientras que para el segundo se registran temperatura y humedad relativa con una periodicidad de 2 horas. Posteriormente, los datos recopilados son utilizados para la caracterización microclimática del cultivo mediante el cálculo de índices bioclimáticos [aridez de la UNEP, Lang (1915), Martonne (1923, 1942), Dantín-Revenga (1940), Emberger (1932), humedad de Thornthwaite (1948), continentalidad, ombrotérmico y termicidad de Rivas-Martínez (Rivas-Martínez, 2004)], y la elaboración del diagrama bioclimático de Gaussen (1954), y de termohietas. La metodología y

3.- Material y métodos

expresiones para su cálculo se consulta en varios textos (Capel Molina, 1982; Heuveloop *et al.*, 1986; Elías y Castellví, 2001).

Para su obtención, previamente se calcula la evapotranspiración potencial (ETP) por el método de Thornthwaite (1955) y la evapotranspiración de referencia (ET_0) por el de Penman-Monteith (1992). Esta última se obtiene, de acuerdo con otros autores (Allen *et al.*, 2006), mediante el software Cropwat 8.0 (©FAO, Roma, Italia), también empleado para calcular la precipitación efectiva de acuerdo con el método USDA Soil Conservation Service (USDA, 1970).

El método de Penman-Monteith es el que presenta una mayor precisión tanto en condiciones de clima húmedo como árido (Urbano, 2008; referenciando a Smith *et al.*, 1992), y puede ser considerada como la ecuación más estandarizada para el cálculo de la evapotranspiración (Allen *et al.*, 2006). En la estimación de las variables no registradas y necesarias para su obtención, se emplean los valores de temperatura con objeto de deducir la velocidad del viento y radiación solar, además de altitud y latitud para el segundo caso (Allen *et al.*, 2006).

3.3.3.2.- Suelo.

Para la determinación de los parámetros edáficos de la parcela experimental, se toman muestras (Fig. 3.2) de 1 Kg con barrena, que son etiquetadas y almacenadas hasta su análisis en el Laboratorio de la Junta Agroempresarial Dominicana (LAD) y el Centro de Tecnologías Agrícolas (CENTA) del Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales. De forma complementaria, y antes de iniciar el ensayo, se realizan tanteos previos referentes a determinaciones de textura, pH y conductividad eléctrica, y estimación de la capacidad de campo, con objeto de observar y comprobar su variabilidad a lo largo del terreno.

Todas las muestras se secan a temperatura ambiente hasta alcanzar peso constante. Posteriormente son trituradas y filtradas por un tamiz con malla de 2 mm de partícula. Para la determinación de los parámetros

considerados y su valoración en comparación con los datos de referencia, se recopilan varios manuales (Díaz-Romeu y Hunter, 1978; Porta *et al.*, 1986-1994; Molina y Meléndez, 2002).

En la determinación de la textura se sigue la normativa marcada por la International Society of Soil Science System (Black, 1968). El análisis se realiza por el método del densímetro de Boyoucos (1936), y posteriormente interpretando los registros con el diagrama triangular de texturas del Manual de Inspección de Suelos del United States Department of Agriculture (Soil Survey, 1964-1995). Este método se basa en la velocidad de decantación de las partículas de la muestra (arena, limo y arcilla) en un medio acuoso, de acuerdo con la Ley de Stokes. Como agente dispersante se emplea hexametáfosfato de sodio.

La metodología empleada para el cálculo de la capacidad de campo es la propuesta por el Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos [United States Salinity Laboratory] (Saline and Alkali Soils, 1954-1969). En este caso, se calculan los mL necesarios para saturar 100 g de suelo.

La medición del pH se realiza con un potenciómetro (pH-metro WTW530i, ©WTW Weilheim, Alemania), previamente habiendo agitado la muestra en suspensión con agua destilada (1:2,5).

Las sales solubles totales se determinan analizando el extracto de la pasta saturada con un conductímetro Consort C535 (©Consort bvba, Turnhout, Bélgica). Se consideran suelos no salinos los que contienen una conductividad inferior a 2 dS/m (Soil Survey Staff, 1993).

Los cationes cambiables calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), potasio (K^+) y sodio (Na^+), se extraen empleando como solución acetato de amonio 1N pH 7. Los valores para cada elemento se determinan posteriormente mediante un espectrofotómetro de llama. El fósforo (P) y los micronutrientes cobre (Cu^{2+}), hierro (Fe^{2+}), manganeso (Mn^{2+}), y zinc (Zn^{2+}) se extraen mediante la solución Mehlich-3 (1984), y posterior espectrómetro de emisión atómica.

3.- Material y métodos

La materia orgánica se determina por el método de combustión húmeda, analizando el carbono orgánico mediante su oxidación (Walkley y Black, 1934). Se emplea dicromato potásico y ácido sulfúrico, y difenilamina como indicador.



Fig. 3.2.- Muestra de suelo de la parcela experimental.

3.3.3.3.- Hidrología.

La red hidrográfica en la que se integra la parcela experimental nace de la cuenca del río Yaque del Sur, que se articula en los ríos Grande y Las Cuevas, a partir de los cuales se originan arroyos, cañadas y ríos, que componen el resto de los cursos superficiales y cuyas aguas abajo desembocan en la Presa de Sabana Yegua, a pocos kilómetros de El Cigual.

En general, estos cursos fluviales son de carácter perenne, aumentando considerablemente su caudal en periodos de precipitación. Cabe resaltar la naturaleza torrencial de algunas áreas de cabecera que componen la red fluvial y que periódicamente provocan daños de infraestructura de magnitud variable.

Por la periferia del núcleo poblacional de la comunidad se dispone de un canal de agua con caudal todo el año, procedente del río Las Cuevas, a partir del cual se irrigan las parcelas agrícolas de la zona, sin que se vea afectado el suministro hacia otros consumos.

3.3.3.4.- El paisaje vegetal.

La problemática que supone el uso de nombres vernáculos o vulgares obliga, para un mayor rigor y certeza, a determinar taxonómicamente las especies propias del área de estudio. Para ello, se muestrea material vegetal y se procede a su herborización (vouchers) y determinación taxonómica en el Instituto Agroforestal Mediterráneo (Universitat Politècnica de València). A fin de obtener los índices sintéticos de las especies de cobertura arbórea y arbustiva más representativas del bosque, se realizan 20 inventarios forestales de acuerdo con la metodología de la Escuela Sigmatística de Braun-Blanquet, tratando de no muestrear espacios castigados por la actividad antrópica. Estas técnicas se describen más detalladamente en el apartado 3.3.4.5.1. correspondiente a la flora arvensis, al tratarse de la misma metodología.

3.3.4.- Aplicación del diseño experimental y desarrollo del cultivo.

El diseño experimental propuesto se pone en práctica sobre terrenos con bosques secundarios decapitados, nunca cultivados. Tras el desbroce con buldócer, y previamente al inicio del cultivo, se realiza, en primer lugar, un reconocimiento de la superficie, nivel y perfil del terreno (perímetro, sección transversal, localización del desagüe principal y zanjas, etc.) con una estación total y un GPS (GMS-2 ©Topcon Positioning Systems, Inc, California, Estados Unidos [©Topcon Corporation, Tokio, Japón]), con el objetivo de adaptar los cálculos y previsiones teóricas del ensayo a las condiciones reales, y ejecutar una adecuada delimitación de márgenes, vías de acceso y parcelación, principalmente.

El ensayo experimental tiene una duración de casi dos años (Marzo 2010 - Enero 2012). En los siguientes apartados se describe las principales labores realizadas en la implantación y manejo del cultivo.

3.- Material y métodos

3.3.4.1.- Preparación del terreno.

Tras la eliminación de los restos de vegetación natural, se realiza una limpieza mecánica y manual del terreno, retirando los residuos vegetales propios del desbroce, rastrojos, troncos y tocones en su gran mayoría.

La nivelación del terreno se realiza con una retroexcavadora (Fig. 3.3a). Se distribuye uniformemente la tierra, desmontando y terraplenando según caso, y siempre respetando la pendiente natural del mismo. Para desviar y evacuar el caudal procedente aguas arriba (originado por las fuertes precipitaciones torrenciales), a fin de evitar o minimizar daños por escorrentía en el cultivo e inundaciones en la comunidad de El Cigual, se excavan unas zanjas-desagüe perimetrales en la parte superior de la superficie disponible, a cotas mayores a la plantación. Las piedras y rocas localizadas dentro de la zona de cultivo son empleadas como recurso para fortalecer muros y taludes de dichas zanjas.

Posteriormente, se toman medidas de cercado para impedir la entrada del ganado (en especial caprino) al cultivo, vallando la parcela con postes secos y alambrada. Las labores de preparación del terreno se llevan a cabo de forma mecánica mediante gradas de disco y de arado (Fig. 3.3b). Los surcos se realizan en los cuadros que procede con arado de tracción animal (Fig. 3.4b), en dirección perpendicular a la pendiente.

Con el terreno preparado, se procede a la aplicación del diseño a campo. A fin de ordenar, señalar y delimitar en la superficie disponible los 96 cuadros experimentales, se emplea una estación total (Fig. 3.4a), estacas y cintas métricas. Cada cuadro (Fig. 3.5) tiene una área de 400 m² (20x20 m), que atiende a cada una de las combinaciones mencionadas anteriormente. Entre estos se traza unos viales perimetrales de 1 m de anchura, por los cuales se puede desplazar el personal por la parcela, y otros principales de 3 m de anchura para el acceso de maquinaria y otros recursos mecánicos. Con la puesta de las estacas no solamente se delimitan los cuadros, sino que también se indican dichos viales. Para identificar cada una de las combinaciones que aplica, se colocan unos postes que ejercen de soporte para los carteles que distinguen cada uno de los cuadros (Fig. 3.9).

De acuerdo con la superficie acotada para cada cuadro, y respetando los marcos de plantación propuestos en el diseño, se cultivan 49 (3x3m) ó 56 (2,5x3m) plantas/cuadro. En total, el ensayo prevé la utilización de 5040 plantas. Las dos variedades son cultivadas en cada cuadro. De las 7 filas que se dispone en cada uno, en 3 (para el marco 3x3 m) y 4 (para el marco 2,5x3 m) filas se cultiva la variedad autóctona dominicana (V1), y en el resto la Cabo Verde (V2) (Fig. 3.6).

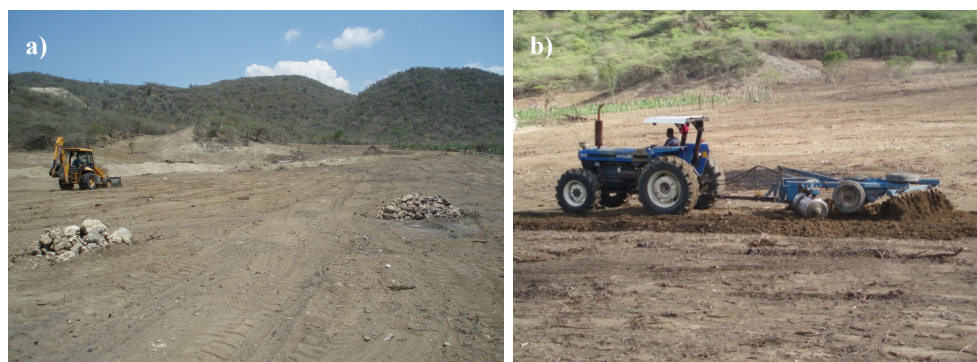


Fig. 3.3.- a) Retroexcavadora en la nivelación del terreno. b) Arado de discos.



Fig. 3.4.- a) Marcado de cuadros en campo. b) Aporcado de surcos.

3.- Material y métodos

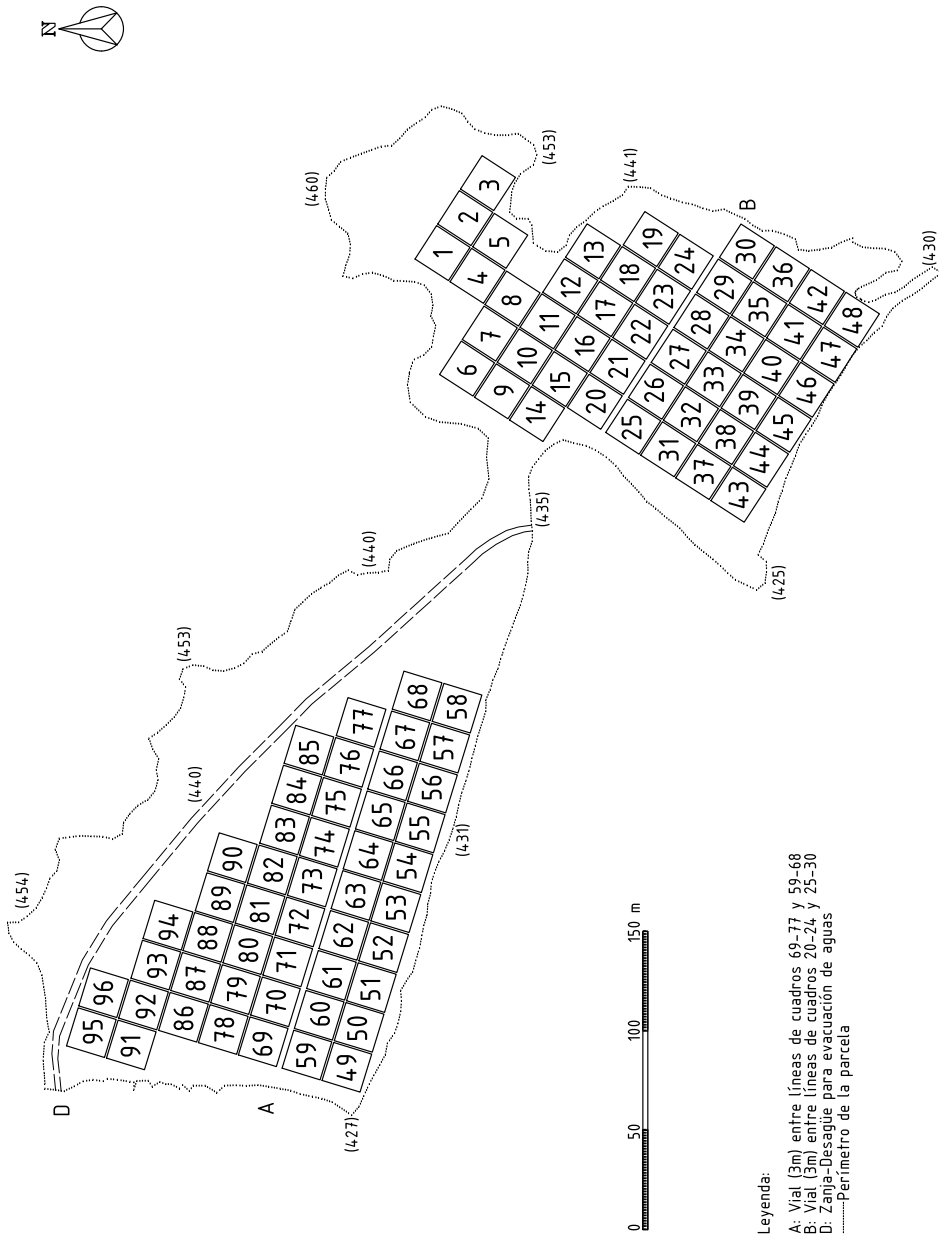


Fig. 3.5.- Distribución de los cuadros experimentales en la parcela de ensayo. (Cotas entre paréntesis).

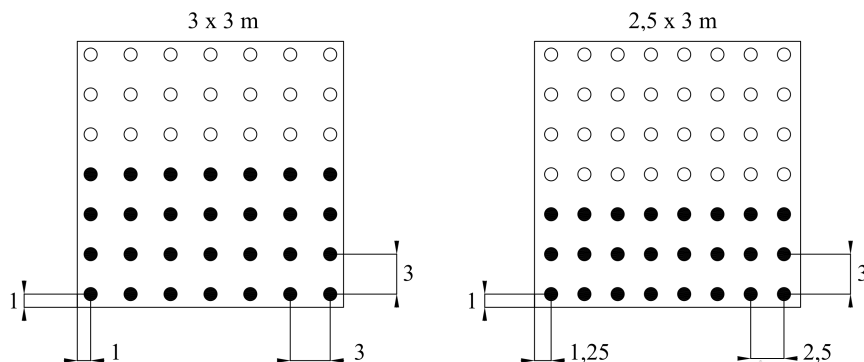


Fig. 3.6.- Distribución de las variedades en el cuadro experimental según marcos de plantación [Blanco = República Dominicana (V1); Negro = Cabo Verde (V2)].

3.3.4.2.- Preparación del semillero. Siembra.

Las semillas de la variedad Cabo Verde [procedentes de San Martín (Perú)], se siembran en alveolos de plástico ($\varnothing=20$ cm; $h=25$ cm), sobre sustrato compuesto por una mezcla de suelo franco-arenoso y cáscara de cacahuete (maní) en proporción 4:1. Previo a la siembra, las semillas se mantienen en agua 24 horas. Se siembran 2 semillas por alveolo, y se realizan riegos cada dos días. Se mantiene en condiciones de invernadero una iluminación del 60% debido a una cobertura de malla (que se retira una semana previa al trasplante, a fin de aclimatar a las plantas a su nuevo entorno de forma gradual) (Fig. 3.7).

La siembra de la variedad autóctona dominicana también se realiza a razón de 2 semillas por alveolo (de plástico, $\varnothing=15$ cm; $h=17$ cm), sobre un sustrato compuesto por una mezcla de suelo franco-arenoso y materia orgánica fecal de ganado caprino (6:1), y se irrigan diariamente.

3.- Material y métodos



Fig. 3.7.- Vivero de la variedad Cabo Verde. a) Alveolos preparados para la siembra (finales Marzo 2010). b) Estado de las plántulas previo al trasplante (finales Mayo 2010).

3.3.4.3.- Trasplante.

Se realiza de forma manual (Fig. 3.8), depositando la planta con el sustrato.



Fig. 3.8.- a) Trasplante. b) Planta a los 15 días del trasplante.



Fig. 3.9.- Cuadro experimental con panel de identificación.

3.3.4.4.- Abonado.

Para mejorar la calidad del sustrato a nivel nutricional, la fertilización se realiza a los 6 meses de la siembra e inicio de la floración. Se emplea un abono compuesto ternario con la fórmula 16-8-8-5S (NPK), que se aplica por planta y no por superficie (en el diseño se adoptan Kg/Ha en función del marco). Dado los diferentes marcos de plantación, se manejan dosis de 76,5 y 114,8 g/planta, aplicándolas a su alrededor, a una distancia inferior a 1 m (FACT, 2009).

3.3.4.5.- Escarda.

Se aplican dos frecuencias de escarda (Fig. 3.10). El momento de la práctica varía en función del desarrollo de las arvenses, restringido por las condiciones agroecológicas. Lógicamente, durante el periodo de lluvias se corresponden escardas (en las parcelas correspondientes) de un modo más frecuente al periodo seco. Se realiza de forma mecánica y manual, cortando y arrancando tanto entre surcos como alrededor de la planta, con un arado de tracción animal para el primer caso, y azada para el segundo. Respecto a este último, en otras experiencias (Andersson *et al.*, 2013) se ha recomendado trabajar el área circundante alrededor de la base hasta 0,6 m de radio aproximadamente.

En la actividad se pone en práctica los principios del “mulching” o acolchado; con los aperos arrastrados, se cortan y arrancan las malezas, removiendo la capa superficial del terreno, y quedando las arvenses depositadas sobre este, con el objetivo de formar una capa orgánica (que permita la conservación de la humedad en el suelo mitigando la evaporación, dificulte el paso de luz y por tanto la proliferación de arvenses, mejore la protección del suelo frente a la erosión y suponga un aporte de materia orgánica tras su descomposición).

3.- Material y métodos



Fig. 3.10.- Cuadros experimentales con/sin escarda.

3.3.4.5.1.- Determinación e inventarios de la flora arvense.

El catálogo florístico incluye las principales plantas arvense presentes en los cuadros experimentales en Marzo 2012, durante el levantamiento de inventarios. Al final del mismo se citan también otras especies no observadas en esta fecha, pero que si lo están para otro periodo. Se realiza un muestreo para cada cuadro, esto es, 96 inventarios. Todos tienen las mismas características, salvo pequeñas variaciones en coordenadas y altitud.

Para la caracterización cuantitativa, se toma como referencia la metodología de la Escuela Sigmatística establecida por Braun-Blanquet (1979). Este trabajo puede desglosarse en dos etapas; una primera fase de campo, en la que se realiza el levantamiento de los inventarios florísticos, y una segunda en la que se someten a tratamientos estadísticos los datos registrados en el muestreo.

A fin de obtener los principales grupos de vegetación arvense se realiza, en primer lugar, un análisis Twinspan (two-way indicator species analysis), que genera a partir de la matriz base, otra según las clasificaciones dicotómicas diferenciadas a distintos niveles, para, a partir de esta, proponer la agrupación de distintas comunidades según la afinidad ecológica entre las especies que las componen e inventarios en los que están presentes. Con esta información, y utilizando los índices de presencia, se

obtienen los índices sintéticos, lo que permite conocer el grado de presencia-abundancia de cada especie en los inventarios.

Este apartado se completa con la especificación del espectro biológico, según las formas de vida consideradas por Raunkiær (1934), así como la corología, propagación y el tipo de metabolismo que presentan las especies inventariadas.

Para la determinación taxonómica, se emplea una lupa binocular (Fig. 3.11) y consulta varias claves y floras, destacando entre todas la colección de volúmenes *“La flora de La Española”* (Liogier, 1996). El resto de la información (biotipo, corología, metabolismo, propagación) se completa con esta y otras obras y fuentes disponibles en formato digital, que se indican al final de la bibliografía.

A fin de conservar el material vegetal en buen estado para poder ser estudiado y determinado taxonómicamente en el Instituto Agroforestal Mediterráneo (Universitat Politècnica de València), el muestreo se prensa y seca entre papeles de periódico y cartón, con habitual intercambio de los mismos para evitar la aparición y proliferación de hongos, o cualquier otra alteración. Posteriormente, se herboriza (vouchers) en el Herbario del Departamento de Ecosistemas Agroforestales.



Fig. 3.11.- Material empleado en la determinación taxonómica de especies.

3.- Material y métodos

3.3.4.6.- Plagas y enfermedades.

Para la determinación de las plagas, se consultan varios textos y bases de datos (Trochez, 1987; Lanteri *et al.*, 2002; Nath, 2007; Pérez-Gelabert, 2008; Veen, 2011; Anitha y Varaprasad, 2012; www.apsnet.org; www.biodiversidadvirtual.org). Para la determinación de los patógenos, a falta de su aislamiento, se consultan estudios y reportes basados en la sintomatología y daños de las enfermedades que provocan.

3.3.4.7.- Poda y despunte.

Se realizan podas de formación a fin de conferir a la planta una estructura adecuada a la productividad y a las tareas de recolección. Los despuntes consisten en la supresión del meristemo apical, en favor del desarrollo de las yemas axilares, que posteriormente serán las ramas secundarias y terciarias. Sobre los cortes resultantes se aplica sustancias (cúpricas) que dificultan la entrada de patógenos.

3.3.4.8.- Riego.

Dadas las circunstancias climáticas extremas para el cultivo de *J. curcas*, y a fin de evitar un mayor estrés debido a posibles variaciones respecto a los valores medios propios de la zona, se realizan puntualmente riegos de apoyo por bombeo y manguera, con inundación de corona alrededor de la planta (en el caso de los cuadros con surcos, aporcando tierra en la base del mismo). Para ello se desplaza un camión provisto de un depósito de agua por los viales principales y periféricos de la plantación. El escaso riego, común a todos los cuadros, constituye un método de salvaguarda de la vitalidad en las fases juveniles.

3.3.4.9.- Registro del desarrollo vegetativo y fenológico.

Durante el ensayo experimental, se realizan registros con periodicidad mensual, a fin de controlar tanto el desarrollo vegetativo como fenológico de la planta. Para el primer caso, se seleccionan al azar 10 plantas por cuadro y se registra su altura. Las plantas muestreadas son

identificadas con estacas coloreadas de 50 cm de altura (Fig. 3.12). Para el segundo, se registra el porcentaje de plantas que tienen flores y/o frutos, muestreando toda la plantación.

3.3.4.10.- Recolección y tratamiento poscosecha.

Los frutos se recolectan manualmente en campo y depositan en sacos o bolsas previamente etiquetadas de forma específica para cada cuadro y variedad. Posteriormente se secan mediante su exposición al sol (periodo variable según la madurez y senescencia del fruto) (Fig. 3.13) hasta que la semilla alcanza un peso constante, tras lo que se registra el rendimiento obtenido.

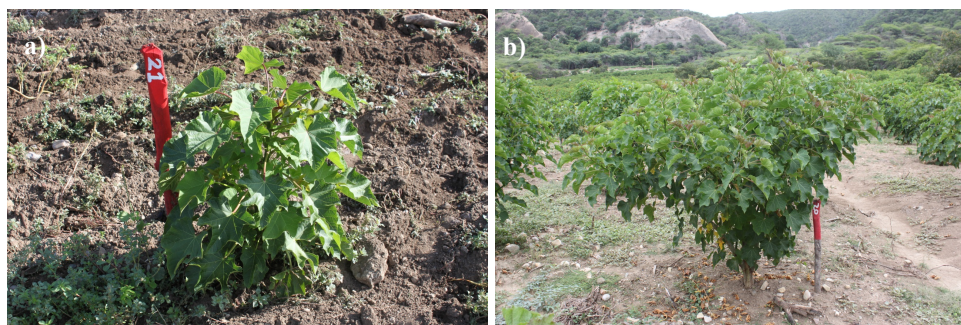


Fig. 3.12.- Plantas seleccionadas para el seguimiento de altura. a) al mes y medio del trasplante. b) a los trece meses del trasplante.



Fig. 3.13.- Secado de semillas cosechadas por cuadro y variedad.

3.- Material y métodos

3.4.- Fijación de carbono.

Una tendencia moderna contempla los efectos beneficiosos secundarios que los cultivos aportarán en su explotación. La capacidad de fijación de CO₂ de las plantas en la fotosíntesis supone un valor medioambiental, sobre todo en el caso de especies bioenergéticas, ya que esto les otorga una ventaja frente a otras fuentes de producción de energía.

En algunos casos, su implantación puede suponer una conversión de tierras, esto es, un cambio de uso del suelo, que entre otras cosas, incluye una sustitución de las especies predominantes anteriores. Por ello, resulta de interés comparar la capacidad de fijación que ofrece el cultivo a implantar frente a las principales especies dominantes en el paisaje natural (bosque secundario tropical xérico).

Con objeto de estudiar una posible influencia de la edad y las labores agrícolas sobre el contenido de carbono, se consideran plantas de *J. curcas* de un año y medio de edad (tanto de la variedad Cabo Verde como la autóctona dominicana), pertenecientes al cultivo experimental, y otras silvestres, de tres años, que nunca recibieron ningún tipo de cuidado. Para las especies dominantes del paisaje, se consideran individuos de dos años de edad (Tabla 3.3). Con el mismo fin, también se incluye la determinación del porcentaje en peso de nitrógeno de la planta.

Tabla 3.3.- Muestras consideradas para la determinación del porcentaje en peso de carbono y nitrógeno.

Especie y variedad	Edad (años)	Nº muestras
<i>J. curcas</i> (V1)	1,5	6
<i>J. curcas</i> (V2)	1,5	6
<i>J. curcas</i> (Silvestre)	3	3
<i>P. juliflora</i>	2	1
<i>A. macracantha</i>	2	1

Nº muestras: Se refiere a las repeticiones para cada órgano: hojas, tallos y raíces.

Se muestrea material vegetal de *J. curcas*, *P. juliflora* y *A. macracantha* de El Cigual. En todos los casos, se distingue entre hojas, tallos y raíces. Las muestras se toman a partir de individuos sanos, se secan en campo y posteriormente en estufa a 48 °C hasta alcanzar peso constante,

y se trituran a fin de obtener un material homogéneo, fino y seco (Fig. 3.14). Se procede a su análisis en contenido de carbono (C) y nitrógeno (N) con un análisis elemental, empleando un equipo TruSpec CN (LECO INSTRUMENTOS S.L., ©LECO Corp., St. Joseph, Estados Unidos). Para calibrar el analizador, se emplea como referencia y patrón alfalfa (*Medicago sativa* L.) (% C = $44,57 \pm 0,25$, % N = $3,88 \pm 0,05$).



Fig. 3.14.- Preparación de muestras para su análisis elemental.

Para expresar el secuestro de CO₂ por hectárea, se calcula el peso y la densidad de plantas de *J. curcas* y *P. juliflora* para dicha superficie. Respecto a la primera variable, en el caso del cultivo se emplea un método destructivo pero minucioso, esto es, muestreando y pesando las plantas (n=4). Dado su tamaño, para *P. juliflora* se toman medidas en campo de su altura (con un clinómetro) y diámetro (se mide el perímetro basal del tronco con una cinta métrica) [n=5], seleccionando árboles con dimensiones representativas. Posteriormente, de los modelos alométricos elaborados para esta especie, se considera $W = 0,0044H \times D^{2,0372}$ (Muturi *et al.*, 2011) donde H es la altura (m), y D el diámetro del tronco (m) a 30 cm del suelo. Aunque morfológicamente *A. macracantha* es similar, la ausencia de modelos para esta especie descartó el cálculo de su peso.

En cuanto a las densidades, en el caso del cultivo se tienen en cuenta los marcos de plantación establecidos en el diseño, mientras que para la especie predominante se considera los registros obtenidos durante la elaboración de los inventarios forestales.

3.5.- Extracción de aceite y determinación de parámetros.

A fin de estudiar y analizar la influencia de determinadas variables en el contenido y los parámetros físico-químicos del aceite, se muestrean semillas de ambas variedades, a diferentes edades de la planta y cosechadas en distintos meses, y en cuadros con rendimientos relativamente distantes (Tabla 3.4). Se realizan 3 repeticiones para cada tipo de muestra.

Tabla 3.4.- Variedad, fecha de recolección y rendimiento en parcela de las semillas muestreadas para la extracción de aceite.

Variedad	Recolección	Edad planta	Rendimiento (Kg/Ha)	
V1	Julio	2011	13 meses	-
V2	Julio	2011		-
V1	Septiembre	2011	15 meses	>500
V2	Septiembre	2011		>500
V1	Septiembre	2011		<300
V2	Septiembre	2011		<300
V1	Nov	2011	17 meses	-
V2	Nov	2011		-
V1	Agosto	2012	26 meses	-
V2	Agosto	2012		-

La extracción se realiza de acuerdo con los métodos oficiales aceptados (AOAC, 2000). Las muestras para el análisis (Fig. 3.15) se preparan en el Instituto Agroforestal Mediterráneo y los laboratorios del grupo CUINA de la Universitat Politècnica de València. Para la extracción se utiliza un equipo Foss SoxtecTM 2055 (FOSS IBERIA S.A., Barcelona, España), empleando como disolvente éter de petróleo (Punto de ebullición 40-60 °C) (VWR-BDH prolabo, Llinars del Vallés, España). Para proceder a realizar las extracciones, en primer lugar se separa la cubierta seminal de las semillas y se extrae el endospermo y embrión, que se trituran hasta alcanzar un tamaño pequeño y homogéneo de partículas, a fin de facilitar la salida de la fase lipídica contenida en las semillas. Posteriormente, se elimina la humedad de las muestras mediante el uso de estufas de vacío a 60 °C durante 24 horas (de esta forma se limita al máximo la pérdida de compuestos lipídicos volátiles). Una vez secas, se enfrían y almacenan en desecadores con humedad relativa de cero hasta el momento del estudio.

Para el análisis, se pesan 10 gramos de cada muestra seca y se introducen en cartuchos de celulosa, que se disponen en el interior del equipo y adiciona 90 mL de disolvente, iniciando a continuación el proceso. Tras finalizar la extracción, el aceite recogido de cada muestra se deposita en estufa a 40-60 °C durante 3 horas, a fin de evaporar el disolvente residual. Finalmente, se enfría en un desecador, y se calcula la cantidad de aceite extraída.



Fig. 3.15.- a) Endosperma y embrión de la semilla. b) Material triturado. c) Aceite extraído.

3.5.1.- Densidad.

La densidad se calcula de acuerdo con el método oficial establecido (AOAC, 2000). En este caso se emplea un picnómetro de 25 mL y agua mili Q, con una temperatura de trabajo de 20 °C.

3.5.2.- Carbono, hidrógeno, nitrógeno y azufre.

Para determinar el contenido de carbono (C), hidrógeno (H), nitrógeno (N) y azufre (S), se realiza un análisis elemental con un equipo TruSpec CHNS (LECO INSTRUMENTOS S.L., ©LECO Corp., St. Joseph, Estados Unidos). Esta técnica consiste en oxidar la muestra mediante una combustión con oxígeno puro a una T^a aproximada de 1000 °C. En el proceso, el CO₂, H₂O y N₂ resultantes de la reacción, son transportados a través de un conducto por Helio (como gas portador), separándose selectivamente en columnas específicas para ser después desorbidos térmicamente. Finalmente, los gases pasan de forma separada por un detector de conductividad térmica que emite una señal proporcional a la

3.- Material y métodos

concentración de cada uno de los componentes individuales de la mezcla (SSTTI-UA, 2012).

3.5.3.- Poder calorífico.

El poder calorífico (superior e inferior) se calcula por bomba calorimétrica, de acuerdo con las normas DIN 51900, ISO 1928, ASTM D240, ASTM D5865, ASTM D1989, ASTM D5468 y ASTM E711. Para su determinación, se emplea un equipo C5003 (IKA® Werke GmbH & Co. KG, Staufen, Alemania). Esta técnica consiste en someter la muestra a una combustión en atmósfera de oxígeno, y registrar el incremento de temperatura que origina dicha reacción. Junto a los datos de la capacidad calorífica del sistema y peso de la muestra, se determina el poder calorífico (SSTTI-UA, 2012).

3.5.4.- Contenido en cenizas, carbono fijo y material volátil.

El contenido en cenizas, carbono fijo y material volátil se determina con un análisis inmediato (proximate analysis) basado en termogravimetría, mediante un equipo TGA/SDTA851e/SF/1100 (con software STAR^c) (©METTLER - TOLEDO S.A.E, Barcelona, España) que trabaja entre T^a ambiente y 1100 °C. Esta técnica consiste en medir la variación de la masa de la muestra cuando ésta se somete a un programa de T^a en atmósfera controlada (SSTTI-UA, 2012). A medida que aumenta la T^a, se determina el porcentaje de volátiles (140-675 °C), carbono fijo (675-950 °C) y cenizas (1000 °C).

3.6.- Tratamiento de los datos.

Para su validez científica, los datos registrados son sometidos a tratamientos estadísticos mediante la aplicación Statgraphics® Centurion XVI (©Statpoint Technologies Inc., Warrenton, Virginia, Estados Unidos). El análisis de la varianza aplicado sobre los datos obtenidos en el diseño experimental, así como el realizado para los capítulos de la fijación de carbono, determinación de los parámetros del aceite, propagación

vegetativa, e influencia del diseño sobre la flora arvense, se ejecuta utilizando el test de comparación múltiple de Fisher (intervalos LSD, Least Significant Difference) para la separación de medias, con un nivel de confianza del 95%.

Como condiciones previas al análisis del diseño y demás capítulos, para la validación y fiabilidad de los resultados obtenidos, se comprueba que los residuos cumplan las condiciones de linealidad, normalidad y homocedasticidad. Para ello, se observan distintos índices, como el de Curtosis y Curtosis Estandarizada, Duncan, Durbin-Watson y Test de Levene. Para una mayor certeza, de forma complementaria se grafican los residuos. Las relaciones entre variables se estudian mediante la matriz de correlaciones de Pearson.

Para el caso concreto del estudio fitosociológico de la flora arvense, una vez establecida y organizada la matriz de datos procedente del levantamiento de inventarios, se analiza con la herramienta estadística PC-ORDTM (MjMTM Software, Estados Unidos).

4.- RESULTADOS.

4.- RESULTADOS.

4.1.- Caracterización del entorno agroecológico.

4.1.1.- Clasificación bioclimática.

Los datos procedentes de la sonda termohigrométrica y el pluviómetro durante el año 2011 (Tabla 4.1) han permitido estudiar y establecer posibles correlaciones entre estos y los recopilados de datos oficiales del observatorio de Padre Las Casas.

Tabla 4.1.- Datos climáticos registrados en la parcela experimental en 2011.

Variable	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Anual
P	6,6	29,2	59,7	36,6	120,1	149,1	194,1	159,3	55,9	0,0	10,2	15,0	835,7
T ^a	22,8	23,4	23,9	26,4	26,4	26,7	27,0	26,7	26,1	25,9	23,2	21,5	25,1
HR	70,0	66,9	64,5	70,3	75,4	74,7	73,0	73,0	74,9	74,9	72,2	74,2	71,8

Datos: P (Precipitación, mm), T^a (Temperatura, °C), HR (Humedad Relativa, %).

Se pueden diferenciar dos estaciones climáticas. Una de mayor temperatura y precipitación para el periodo Mayo-Septiembre, que corresponde con el periodo de mayor actividad vegetativa, y cuyos valores más altos se registran en Julio, y otra menos cálida y seca, comprendida en el periodo Octubre-Abril, en que los valores más bajos tienen lugar en diciembre para la temperatura, y en octubre para la precipitación.

Aunque la temperatura no varía bruscamente y se mantiene anualmente en un rango medio de 21,5-27 °C, en Enero y Diciembre se registraron valores mínimos de 13,3 y 12,9 °C, respectivamente, que coincidiendo con el periodo seco, originan unas condiciones desfavorables para el cultivo. Por otra parte, en Septiembre y Octubre se llegaron a registrar valores superiores a los 40 °C, hechos que contribuyen a justificar la fuerte evapotranspiración existente.

En cuanto a las precipitaciones, se confirma una distribución irregular. Un aporte de agua alrededor de los 800 mm anuales como en este caso, podría entenderse como suficiente para obtener mayores rendimientos si se produjese uniformemente. Sin embargo, la forma en que acontecen no permite su total aprovechamiento por parte del cultivo.

4.- Resultados

Para el año 2011, los 835,7 mm registrados tuvieron lugar en 40 horas, repartidas en 64 días. Durante el periodo Enero-Abril, la mitad o más de las precipitaciones mensuales acontecieron en un día de ese mes. En Noviembre y Diciembre, las lluvias mensuales registradas se dieron en un solo día para cada caso. Para el periodo de lluvias, las mayores precipitaciones se registraron en Julio, con 194,1 mm. De esta cantidad, 96 mm (prácticamente el 50%) tuvieron lugar en solo dos horas y media. Estos son algunos de los ejemplos que ponen de manifiesto lo anteriormente expuesto. Junio con 12 días, y Agosto con 10, fueron los meses con el mayor número de días con precipitaciones.

Los meses de mayor pérdida de agua por escorrentía y percolación coinciden con los más lluviosos (Fig. 4.1, Tabla 4.2). Ello se debe a la naturaleza torrencial de la zona, en que el cultivo no es capaz de asimilar todo el aporte de agua.

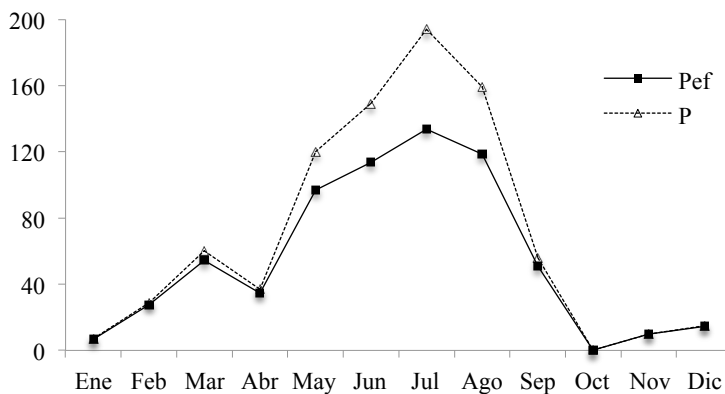


Fig. 4.1.- Precipitación (mm) efectiva (P_{ef}) frente a precipitación (P) en la parcela.

Tabla 4.2.- Precipitación efectiva calculada por el método propuesto por USDA.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
P	7	29	60	37	120	149	194	159	56	0	10	15	836
P _{ef}	6,9	27,7	54,2	34,8	97	113,5	133,8	118,6	51	0	9,8	14,6	661,9

Datos: P (Precipitación, mm), P_{ef}(Precipitación efectiva, mm).

Posteriormente, se obtuvieron los valores de la evapotranspiración potencial (Tabla 4.3) y de referencia (Tabla 4.4). Para el primer caso, se

obtuvo un valor anual de 1454,14 mm, mientras que para el segundo algo superior, de 1870,55 mm.

Tabla 4.3.- Cálculo de la ETP por el método Thornthwaite.

Mes	T ^a (°C)	i	ETP _x (mm)	Insolación(h)	L	ETP(mm)
Ene	22,8	9,9	82,9	10,8	0,9	77,1
Feb	23,4	10,3	90,2	10,2	0,8	74,1
Mar	23,9	10,7	96,6	11,7	1,0	97,4
Abr	26,4	12,4	133,6	13,6	1,1	151,4
May	26,4	12,4	133,6	12,6	1,1	144,9
Jun	26,7	12,6	138,0	13,0	1,1	149,5
Jul	27,0	12,8	142,6	13,1	1,1	160,9
Ago	26,7	12,6	142,6	12,8	1,1	157,2
Sep	26,1	12,2	128,7	13,4	1,1	143,7
Oct	25,9	12,1	125,5	13,7	1,2	148,1
Nov	23,2	10,2	87,7	12,2	1,0	89,2
Dic	21,5	9,1	68,5	10,3	0,9	60,7

Datos: a = Parámetro teórico = 3,25; I = Índice de calor anual = 137,5; i = Índice de calor mensual; ETP_x = Evapotranspiración potencial en mm sin ajustar con horas de sol; Insolación = Media del n° de horas de sol por día; L = Valor de ajuste de la luz solar en función de la latitud.

Tabla 4.4.- Cálculo de la ET_o por el método Penman-Monteith.

Mes	HR (%)	Viento (Km/día)	Insolación (h)	T ^a media (°C)	Radiación (MJ/m ² /día)	ET _o (mm/día)
Enero	70	173	10,8	22,8	20,6	3,8
Febrero	67	173	10,2	23,4	21,8	4,3
Marzo	65	173	11,7	23,9	26,1	5,1
Abril	70	173	13,6	26,4	30,3	6,1
Mayo	75	173	12,6	26,4	28,9	5,8
Junio	75	173	13,0	26,7	29,3	5,9
Julio	73	173	13,1	27,0	29,4	6,1
Agosto	73	173	12,8	26,7	28,9	5,9
Septiembre	75	173	13,4	26,1	28,9	5,6
Octubre	75	173	13,7	25,9	27,1	5,2
Noviembre	72	173	12,2	23,2	22,7	4,2
Diciembre	74	173	10,3	21,5	19,2	3,3
Promedio	72	173	12,3	25,0	26,1	5,1

Nota: Velocidad del viento estimada a 2 m sobre el nivel del suelo; Insolación = Media del n° de horas de sol por día.

En general, se observa que la temperatura se mantiene más o menos constante todo el año (Fig. 4.2), no dándose una clara estacionalidad. Los mayores valores de evapotranspiración (potencial y de referencia) se registran durante el periodo comprendido entre los meses de Abril y Octubre, coincidiendo con el periodo de precipitaciones. En general son

4.- Resultados

superiores a las precipitaciones para casi todo el año, lo que revela una condición de déficit constante.

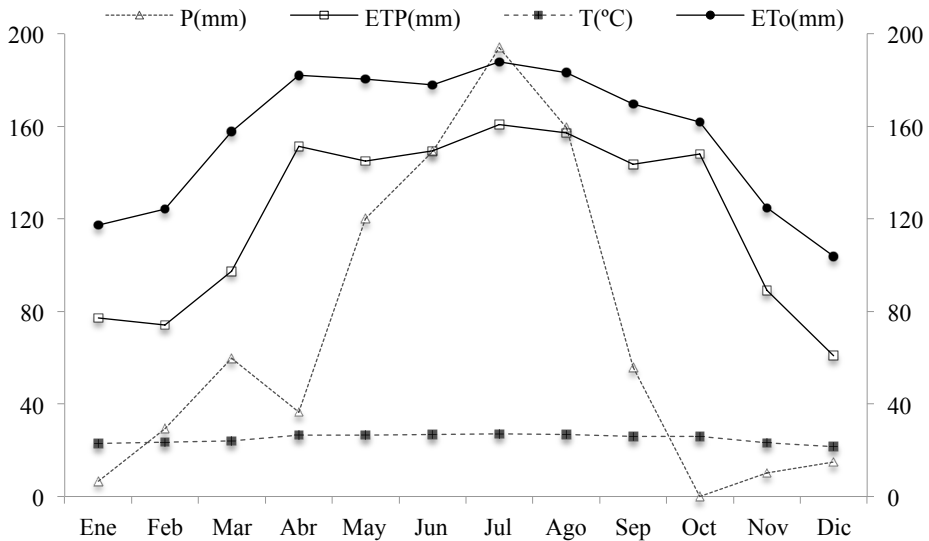


Fig. 4.2.- Diagrama bioclimático de la parcela experimental en 2011.

A través del diagrama ombrotérmico de Gaussen (Fig. 4.3) y el diagrama de termohietas (Fig. 4.4) se puede observar claramente los dos periodos mencionados, uno más cálido y con más precipitaciones, y el otro ligeramente más frío y muy seco.

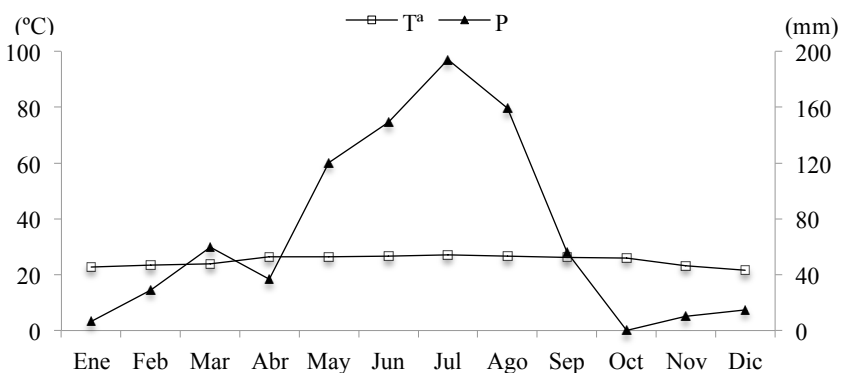


Fig. 4.3.- Diagrama ombrotérmico de Gaussen para la parcela experimental en 2011.

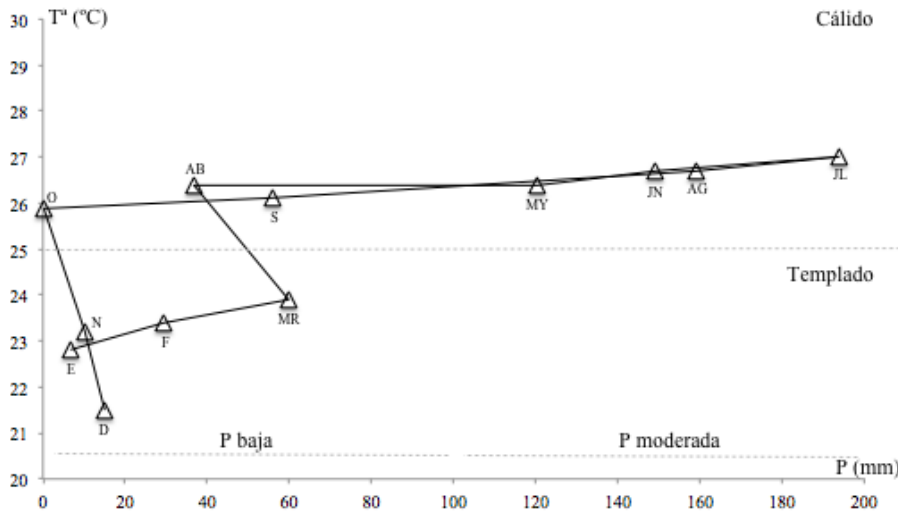


Fig. 4.4.- Diagrama de termohietas para la parcela experimental en 2011.

Según los índices bioclimáticos (Tabla 4.5), el área de estudio se incluye en un macrobioclima tropical, concretamente en una zona cálida con bioclima tropical xérico (Rivas-Martínez, 2004).

Tabla 4.5.- Índices y clasificación bioclimática del área de estudio.

	Índice	Valor	Clasificación
	aridez de la UNEP	0,5	Clima subhúmedo - seco
	aridez de Lang	33,2	Zona árida
	aridez de Martonne	23,8	Zona subhúmeda
	Dantin Cerceda y Revenga Carbonell	3	Zona semiárida - árida Vegetación adaptada a la aridez Bosque y matorral esclerófilos
	Emberger	84,3	Subhúmedo
	humedad de Thornthwaite	-42,5	Semiárido
Rivas-Martínez	aridez anual (Iar)	20,9	
	continentalidad simple (Ic)	5,5	Euhiperocéánico acusado
	continentalidad magnificado (Icm)	28,4	
	ombroevaporación anual (Ioe)	0,1	
	ombrotérmico anual (Io)	2,7	Horizonte ómbrico: Hiperárido superior Ombrotipo seco
	termicidad (It)	700,6	Tipo térmico cálido Termotipo termotropical inferior

4.- Resultados

En relación con otros sistemas de clasificación, la zona de cultivo corresponde a sabana tropical (periodo seco en invierno, [Aw]) en la clasificación de Köppen y bosque subtropical seco en las zonas de vida de Holdrige.

Por otra parte, según los datos históricos recopilados en la estación de Padre Las Casas para un periodo de 30 años (VVAA, 2004), las precipitaciones medias anuales oscilan alrededor de los 700-1000 mm, que no acontecen uniformemente a lo largo del año, sino que se concentran en dos periodos correspondientes a los meses de mayo y septiembre (Fig. 4.5). Al igual que se ha observado en la parcela experimental, los valores medios de precipitación son inferiores a los de evapotranspiración, poniendo de manifiesto el estrés que sufren los cultivos y vegetación natural del paisaje durante todo el año.

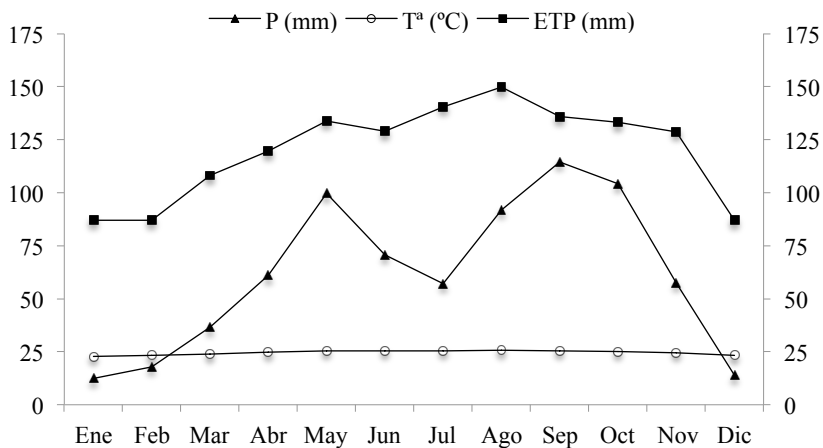


Fig. 4.5.- Diagrama bioclimático de Padre Las Casas para un periodo de 30 años.

Si se compara los datos registrados en la parcela experimental con los históricos consultados en Padre Las Casas, se observa que para el primer caso la temperatura (Fig. 4.6) es algo más alta durante el periodo Abril - Octubre, y más baja a finales de año.

Respecto a las precipitaciones (Fig. 4.7), si bien las cantidades anuales registradas son similares, se observa que para el año 2011 tanto en Padre Las Casas como en la parcela experimental su distribución no se

corresponde con la histórica, sino que se alcanza un solo máximo pluviométrico con un valor cercano a los 200 mm, mientras que para los datos históricos se observa un régimen bimodal con máximos inferiores, de unos 120 mm.

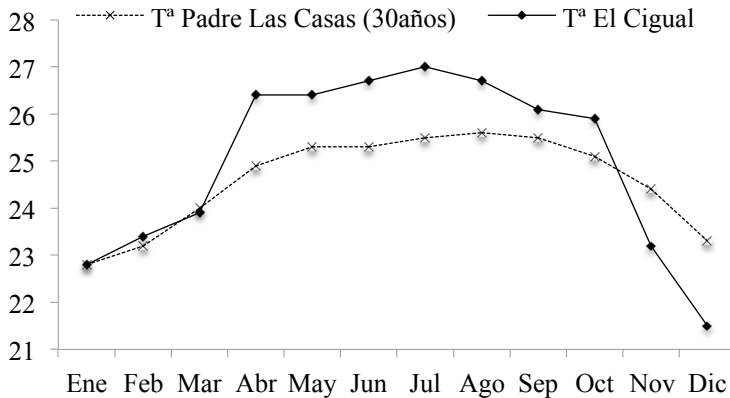


Fig. 4.6.- Comparativa de temperaturas (°C) entre Padre Las Casas y la parcela experimental (El Cigual).

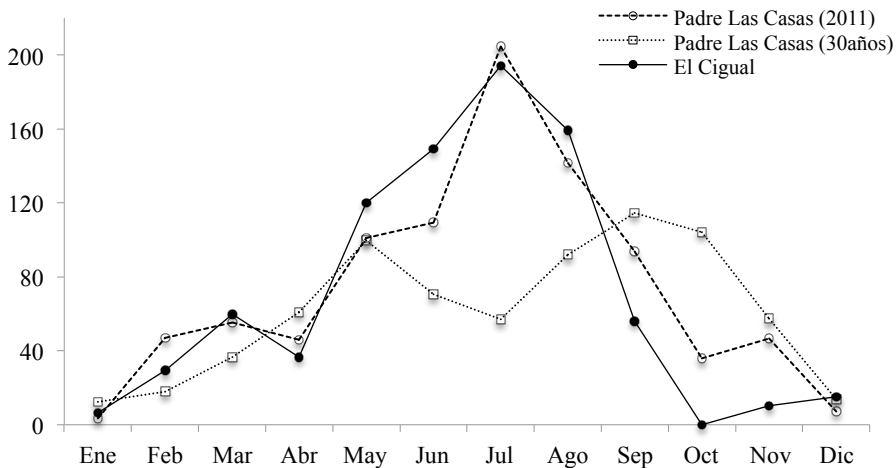


Fig. 4.7.- Comparativa de precipitaciones (mm) entre Padre Las Casas y la parcela experimental (El Cigual).

En cuanto al estudio de las correlaciones entre los datos climáticos de la parcela experimental y Padre Las Casas (Tabla 4.6), las relaciones linealmente más fuertes se observaron entre la temperatura y la

4.- Resultados

evapotranspiración de referencia, así como la precipitación de la parcela y de Padre Las Casas para el mismo año. La relación entre la temperatura registrada en El Cigual y la histórica de Padre Las Casas también presenta un elevado valor.

Tabla 4.6.- Correlación de datos climáticos.

	ET _o - ETP _{30y}	ET _o - P	ET _o - T	ET _o - T _{30y}	ETP _{30y} - T	HR - P _{30y}	P - P _{PLC}	P - T	T - T _{30y}
Valor-P	0,0012	0,0073	0,0000	0,0001	0,0006	0,0108	0,0000	0,0112	0,0000
Correlación	0,8173	0,7275	0,9710	0,8938	0,8413	0,7250	0,9351	0,7004	0,9130

Donde: ET_o (Evapotranspiración de referencia en la parcela experimental). ETP (Evapotranspiración potencial en la parcela experimental). ETP_{30y} (Evapotranspiración potencial en Padre Las Casas para un periodo de 30 años). P (Precipitación en la parcela experimental). P_{PLC} (Precipitación en Padre Las Casas para el año 2011). P_{30y} (Precipitación en Padre Las Casas para un periodo de 30 años).

T (Temperatura en la parcela experimental). T_{30y} (Temperatura en Padre Las Casas para un periodo de 30 años).

4.1.2.- Suelo.

La región se caracteriza por el afloramiento de materiales mesozoicos y cenozoicos de origen volcánico y sedimentario. La zona de estudio está ubicada al norte de la llanura de Azúa, entre la vertiente suroccidental de la Cordillera Central, de orientación NW-SE y la Cuenca del valle de San Juan, dos de las principales formaciones geológicas de la República Dominicana. La primera está integrada por un complejo de unidades ígneas, metamórficas y sedimentarias generadas entre el Jurásico y el Paleógeno, mientras que la segunda forma parte del sistema de cuencas sedimentarias neógenas del suroeste insular (INYPSA, 2000).

En general, uno de los principales factores limitantes que afecta a la mayoría de los cultivos en la provincia de Azúa, además de la aridez, está ligado al escaso desarrollo de sus suelos, poco profundos y pedregosos (Tirado, 2003), tal y como ocurre en El Cigual. La parcela para el desarrollo del cultivo experimental se localiza en la base de una montaña que compone el relieve accidentado de la región, con una pendiente irregular (no uniforme) media de 9,7%, de orientación SW, que afecta a más del 50% de la parcela. De origen coluvial, está formada por una capa de materiales detríticos, transportados y sedimentados por el agua torrencial de las precipitaciones.

La textura presenta una elevada proporción de elementos finos (Tabla 4.7), con un pH ligeramente básico, y la conductividad eléctrica, con valores relativamente bajos, indica que la salinidad no es un factor limitante para el cultivo. Aunque admisible en los horizontes superficiales, los contenidos en materia orgánica, fósforo y potasio en las muestras de mayor profundidad son bajos. De carácter calcáreo, el contenido de calcio y magnesio es aceptable, siendo inferior para otros elementos secundarios. En cuanto a la capacidad de campo, 100 g de suelo se saturan con 41 mL de agua.

Tabla 4.7.- Análisis de suelo de El Cigual.

Parámetro	0-35 cm	35-50 cm	50-90 cm
M.O. (%)	2,9	1,8	1,2
pH (1:2)	8,1	8,2	8,1
C.E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	0,3	0,4	0,6
CaCO_3	+	+	+
Ca^{2+} (meq/100mL)	32,5	33,9	31,1
Mg^{2+} (meq/100mL)	3,1	4,0	4,2
K^+ (meq/100mL)	0,6	0,2	0,2
Na^+ (meq/100mL)	0,3	0,5	0,5
C.I.C (meq/100mL)	36,6	38,7	36,1
Ca/Mg	10,5	8,5	7,4
Mg/K	4,9	21,0	21,0
(Ca+Mg)/K	56,5	199,8	176,8
Fe^{2+} (ppm)	7,8	4,6	4,0
Mn^{2+} (ppm)	1,6	0,6	0,6
Cu^{2+} (ppm)	0,0	0,0	0,0
Zn^{2+} (ppm)	0,5	0,5	0,4
P (ppm)	17,0	9,0	7,0
Arena (%)	20	18	17
Limo (%)	26	28	31
Arcilla (%)	54	54	52
Textura	Arcillosa	Arcillosa	Arcillosa

(M.O.: Materia orgánica; C.E.: Conductividad eléctrica; C.I.C.: Capacidad de intercambio catiónico)

4.- Resultados

4.1.3.- El medio y el paisaje vegetal.

La vegetación potencial del área donde está enclavada la parcela experimental, y de acuerdo a las características bioclimáticas, corresponde a un bosque subtropical seco, el cual representa el 21% del total del área boscosa de la República Dominicana, y se localizan en el extremo norte y el suroeste del país (SEA, 1996). Para la zona estudiada destacan, en el estrato arbóreo y arbustivo (Tabla A.2), especies xerófilas (Cámara, 2005; citando a Cámara, 2004) como *Acacia macracantha* Humb. et Bonpl. ex Willd. y *Prosopis juliflora* (Sw.) DC., acompañadas por otras de valor corológico, pertenecientes a los géneros *Capparis* sp., *Croton* sp. y *Senna* sp. (entre los que se encuentran varias especies de crecimiento lento, de aprovechamiento maderero) así como *Bursera simaruba* (L.) Sarg. y *Guaiacum officinale* L., este último protegido por una ley medioambiental nacional (VVAA, 2011). También destacan las cactáceas *Consolea moniliformis* (L.) A. Berger y *Pilosocereus polygonus* (Lam.) Byles & G.D. Rowley, propias de estas zonas y el monte espinoso, así como la apocinácea *Calotropis procera* (Aiton) Dryand., presente en ambientes tan áridos como el desierto. Hay que destacar la presencia de varias especies laticíferas de la familia de las Euforbiáceas, pertenecientes al género *Euphorbia* sp. (de gran interés por su potencial como fuente primaria de biocombustibles, y empleadas localmente para cercar terrenos), como *E. lactea* Haw., o la oleaginosa *Jatropha gossypifolia* L., con una gran resistencia al estrés hídrico. Las bromeliáceas están representadas por el género *Tillandsia* sp. En el estrato herbáceo, destacan *Ruellia tuberosa* L., *Commelina benghalensis* L., *Lantana camara* L., *Eragrostis barrelieri* Dav., *Parthenium hysterophorus* L. o *Amaranthus* sp., entre otros. La flora (Tabla A.3) se completa con otras especies menos distribuidas, como *Capparicordis crotonoides* (Kunth) Iltis & Cornejo, de género neotropical (Iltis y Cornejo, 2007) del cual existen pocas referencias, y que podría tratarse de un endemismo.



Fig. 4.8.- Zona muestreada.

4.2.- Reproducción.

4.2.1.- Por semilla.

Se realizó bajo unas condiciones de $26,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ de temperatura y $74,7\%$ de humedad relativa. Se emplearon semillas recolectadas 4 meses antes de la prueba, durante la primera cosecha. Los porcentajes de germinación registrados fueron del $91,2 \pm 2,2\%$ para la variedad Cabo Verde y $89,7 \pm 1,6\%$ para la variedad autóctona de República Dominicana. Las germinaciones más precoces tuvieron lugar a los 4 días de la siembra (Fig.4.9a), y las más tardías a los 10.



Fig. 4.9.- Germinación por semilla. a) Primeras germinaciones. b) Plántulas a los 13 días de la siembra.

4.2.2.- Vegetativa.

La prueba por estaquillado se realizó bajo una temperatura de $22,5^{\circ}\text{C}$ y 65% de humedad relativa. A los 6 meses de la siembra, se cortaron las plantas por la parte basal y apical para obtener las estacas (se preparó 1 muestra por planta), eliminando las hojas.

Todas las estacas del ensayo (cuya longitud y anchura media fue de $17,7\text{ cm}$ y $1,4\text{ cm}$, respectivamente [Tabla 4.8]) enraizaron, con un porcentaje de supervivencia del 100% . El sistema radicular formado careció de una raíz principal gruesa, tal y como se ha descrito en otros trabajos (Heller, 1996; Severino *et al.*, 2011).

4.- Resultados

La brotación precedió al enraizamiento. A los 9 días de su preparación, las muestras comenzaron a rebrotar (las sometidas a concentraciones de 5 mg/L con mayor precocidad), y hasta las 3-4 semanas no comenzaron a enraizar. Durante el ensayo, se optó por disminuir la dosis de riego a fin de estimular el desarrollo radicular. A los dos meses y medio se realizaron los registros oportunos. Considerando todos las muestras (n=120), se formaron un promedio de 9 raíces por estaca, con una longitud media de 5,2 cm.

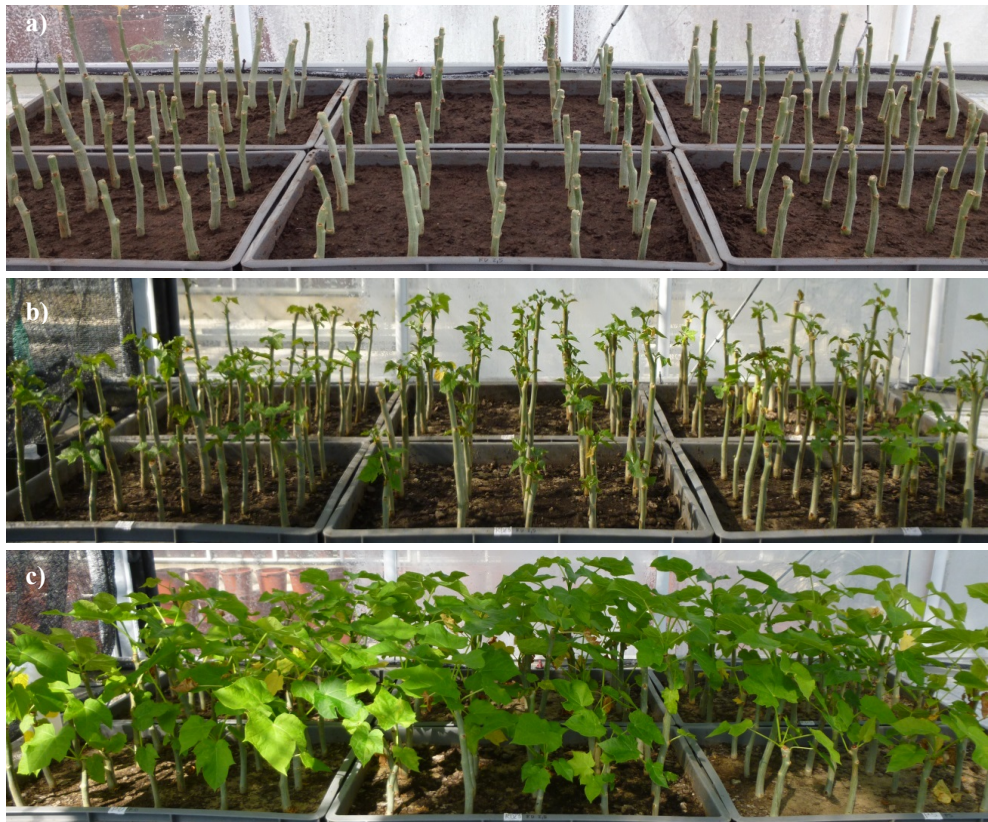


Fig. 4.10.- Desarrollo de las estacas. Semanas 1 (a), 4 (b), y 10 (c).

Tabla 4.8.- Tamaño de las estacas, y número y longitud de raíces formadas (n=120).

Variable	$\bar{x} \pm \text{St.E.}$
L est (cm)	17,71 \pm 0,37
A est (cm)	1,38 \pm 0,01
Nº raíces	9,22 \pm 0,37
L raíces (cm)	5,21 \pm 0,13

\bar{x} = Promedio. St.E. = Error estándar.

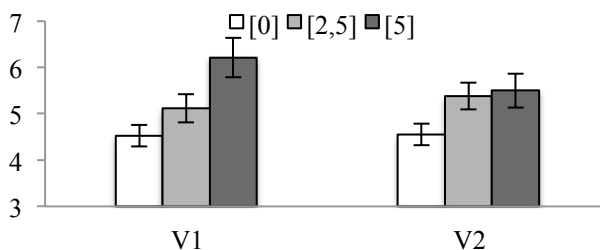
Considerando la longitud de raíces como variable dependiente, la variedad no resultó estadísticamente significativa ($P=0,58 > 0,05$), pero si la concentración de IBA ($P=0,0003 < 0,0500$), distinguiendo dos grupos homogéneos, definidos por la aplicación o no de auxinas (Tabla 4.9). La interacción entre ambas tampoco incidió ($P=0,27 > 0,05$). No se observaron diferencias estadísticamente significativas para ningún caso cuando se consideró el número de raíces como variable dependiente.

Tabla 4.9.- Longitud de raíces (cm) registrada para cada tratamiento (n=40).

[IBA] (ppm)	$\bar{x} \pm \text{St.E.}$
0	4,53 \pm 0,16 ^a
2,5	5,24 \pm 0,20 ^b
5	5,85 \pm 0,28 ^b

Superíndices a y b muestran grupos homogéneos con diferencias estadísticamente significativas ($P < 0,05$).
 \bar{x} = Promedio. St.E. = Error estándar.

Las raíces más largas se registraron con la aplicación de IBA a una concentración de 5 mg/L, mientras que las más cortas se dieron en los casos control. Aunque este hecho se observó para ambas variedades, solamente existieron diferencias estadísticamente significativas entre los tres tratamientos para la variedad autóctona dominicana (Tabla 4.10; Fig. 4.11).

**Fig. 4.11.- Longitud de raíces (media [cm] y error estándar) por tratamiento y variedad.**

4.- Resultados

Tabla 4.10.- Longitud de raíces (cm) por tratamiento y variedad (n=20).

Variedad y [IBA(ppm)]	$\bar{X} \pm \text{St.E.}$
V1 x [0]	4,52 \pm 0,23 ^a
V1 x [2,5]	5,11 \pm 0,30 ^b
V1 x [5]	6,21 \pm 0,42 ^c
V2 x [0]	4,55 \pm 0,22 ^a
V2 x [2,5]	5,38 \pm 0,28 ^b
V2 x [5]	5,50 \pm 0,36 ^b

Superíndices a, b y c muestran grupos homogéneos con diferencias estadísticamente significativas ($P < 0,05$).
 \bar{X} = Promedio. St.E. = Error estándar.

La longitud de raíces estuvo correlacionada con el número de estas, y con la anchura y longitud de la estaca, registrando un valor-P de 0,00 ($< 0,05$) para los 3 casos en la matriz de Pearson. Sin embargo, se detectó una baja relación lineal, con valores de 0,53, 0,43 y 0,41, para las variables citadas, respectivamente.

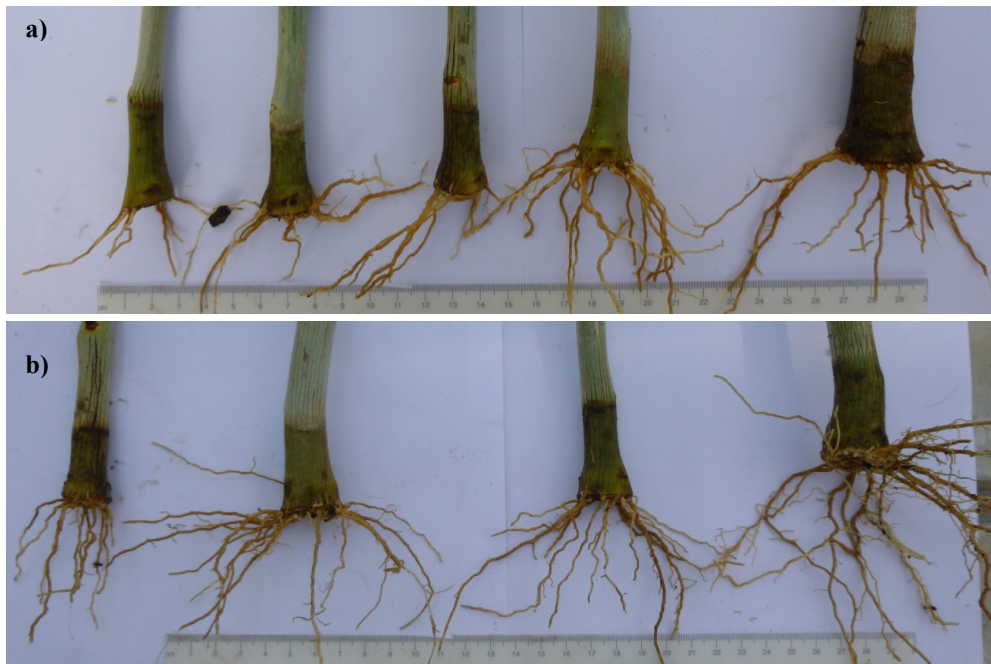


Fig. 4.12.- Desarrollo radicular en estacas de Cabo Verde sin aplicación de auxinas (a) y la variedad autóctona dominicana sometidas a 5 mg/L (b). [Longitud de la referencia: 30 cm]

4.3.- Desarrollo y fenología del cultivo experimental.

La siembra se realizó a finales de Marzo 2010. La temperatura media registrada en el vivero durante la germinación y desarrollo de las plántulas hasta el trasplante, fue de 28,3 °C. Las primeras nascencias se produjeron a los 4 días, y las más tardías a los 11 días, cuando algunas de las primeras ya han alcanzado una altura de 13-15 cm. Posteriormente, el ritmo de su crecimiento longitudinal aminoró en favor de la brotación, crecimiento de hojas y engrosamiento del tallo.

El trasplante a la parcela experimental se realizó pasados dos meses (a los 65 días tras la siembra), teniendo las plantas una altura de 30-45 cm, diámetro basal de 1,2-1,5 cm, y sistema radicular de unos 20-25 cm. Se llevó a cabo en periodo de lluvias, tratando de aprovechar los días nublados y con precipitaciones, a fin de disponer de un suelo húmedo. El porcentaje de supervivencia fue del 96%. Tras el trasplante, fue necesaria la colocación de tutores para enderezar algunas plantas, dado que el síntoma de marchitez propio de la adaptación a su nuevo entorno se extendió más de lo previsto.

A finales de Septiembre - principios de Octubre se observaron los primeros botones florales. Durante la primera quincena de Octubre, comenzaron a observarse con facilidad flores abiertas, y en Noviembre cuajaron los primeros frutos. En la primera quincena de Diciembre inició el periodo de recolección, que tuvo su fin a finales de Enero 2011, observándose aborto de inflorescencias, escasos frutos cuajados de tamaño pequeño, y primeros síntomas de defoliación de la planta, en contraste con tímidas brotaciones de las yemas apicales. Esta condición se mantuvo hasta mediados de Febrero, en que el cultivo comenzó a sufrir una defoliación severa.

La sensibilidad de la planta a su entorno se manifiesta, principalmente, por la presencia de sus hojas (Fig. 4.16; Fig. 4.17) Durante el periodo seco las hojas adultas caen, quedando solamente los pequeños brotes de la parte apical. Con el inicio del periodo húmedo en Mayo, la planta rebrotó rápida y abundantemente. Posteriormente tuvo lugar la

4.- Resultados

floración y cuajado de frutos, finalizando la cosecha a finales de año, ya en periodo seco.

De las medidas de campo realizadas para cuantificar el desarrollo del cultivo (Fig. 4.13), se puede observar un incremento de altura hasta el inicio de la primera cosecha en Diciembre de 2010, que es retomado a mediados de 2011 con el inicio del periodo húmedo. Durante los periodos secos, la planta apenas incrementó su altura.

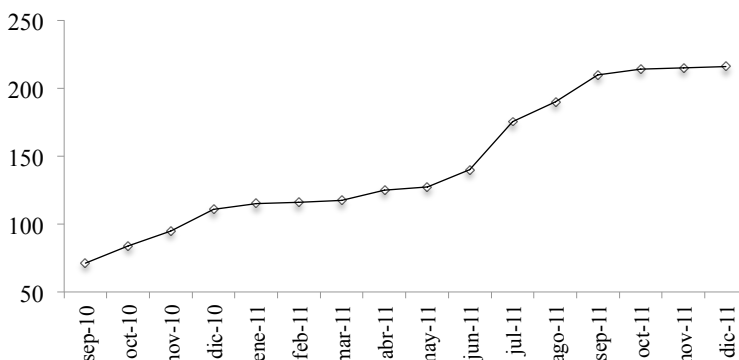


Fig. 4.13.- Evolución de la altura (cm) de la plantación para el periodo Sep. 2010 - Dic. 2011.

En comparación con plantaciones en Samba Gueye (Senegal) (Heller, 1992), que cuenta con un clima semiárido y valores de precipitación anual de 200-800 mm, se mostraron alturas similares hasta el primer año del trasplante (Fig. 4.14). Entre otros, el aporte de agua acontecido durante el segundo año del cultivo en El Cigual podría ser uno de los principales factores por los que el incremento de altura en este fue superior.

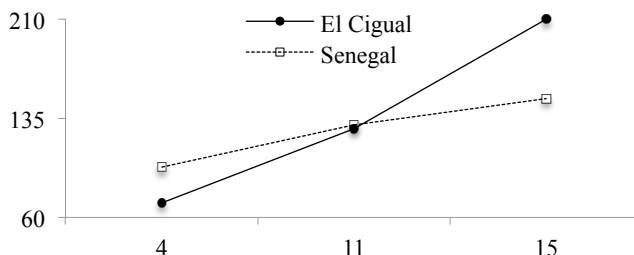


Fig. 4.14.- Altura de la plantación (cm) a los 4, 11 y 15 meses del trasplante en la parcela experimental (El Cigual) y Samba Gueye (Senegal).

La influencia de las precipitaciones sobre la entrada en producción del cultivo también quedó demostrada en el registro fenológico (Fig. 4.15). Con las lluvias del último trimestre del 2010 se inició la primera floración y posterior cosecha, que finalizó a finales de Enero 2011 con el inicio del periodo seco. La siguiente recolección inició con el periodo húmedo correspondiente al 2011, en el que entraron un mayor número de plantas en producción. No obstante, probablemente la gran diferencia entre la cantidad recolectada para el primer y segundo año no solo se deba a este hecho, sino principalmente al aumento de productividad de cada planta. Este registro debe entenderse como orientativo, pues la mayoría de muestreos estuvieron influenciados por los pases de recolección.

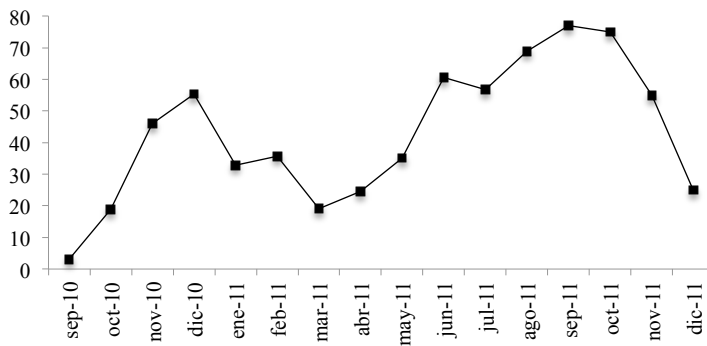


Fig. 4.15.- Evolución del porcentaje de plantas con flores y/o frutos para el periodo Oct. 2010 – Dic. 2011.

4.4.- Rendimientos. Influencia de los factores adoptados.

Durante el ensayo se obtuvo un peso total de semilla seca de 1280 Kg (para las 3,84 Has cultivadas), del cual menos de un 10% (32 Kg/Ha) se recolectó a los 7 meses del trasplante, durante la primera cosecha, correspondiente al periodo finales de Diciembre 2010 - finales de Enero 2011. El resto (302 Kg/Ha), se recolectaron durante el segundo semestre del año 2011, registrando los mayores rendimientos en Septiembre y Octubre, que posteriormente disminuyeron acorde a la falta de precipitaciones.

En general, y a partir de varios muestreos realizados durante los dos años del ensayo, se obtuvo un peso seco del fruto de $2,41 \pm 0,04$ g, esto es, entorno a 415 frutos/Kg.

4.- Resultados



Fig. 4.16.- Desarrollo de la zona Este de la plantación durante el ensayo.



Fig. 4.17.- Desarrollo de la planta durante el ensayo.

4.- Resultados

El peso de la semilla (Fig 4.18) y pericarpio (Fig. 4.19) alcanzan un valor constante al tercer o cuarto día de exposición a la radiación solar (Tabla 4.11), aunque esto variará en función de las condiciones climáticas locales. Dada la pérdida de agua durante el proceso de secado, no solo disminuye el peso del fruto sino también su tamaño (Tabla 4.12).

Tabla 4.11.- Evolución del peso de semilla y pericarpio (g) durante el proceso de secado (n=100).

Parte del fruto	Fresco	1 h	24 h	72 h	96 h
Semilla	0,944 ± 0,015	0,721 ± 0,013	0,652 ± 0,011	0,609 ± 0,010	0,591 ± 0,010
Pericarpio	5,570 ± 0,234	3,641 ± 0,174	1,506 ± 0,106	0,759 ± 0,026	0,733 ± 0,034

$\bar{x} \pm \text{St.E.}$ (\bar{x} = Promedio. St.E. = Error estándar).

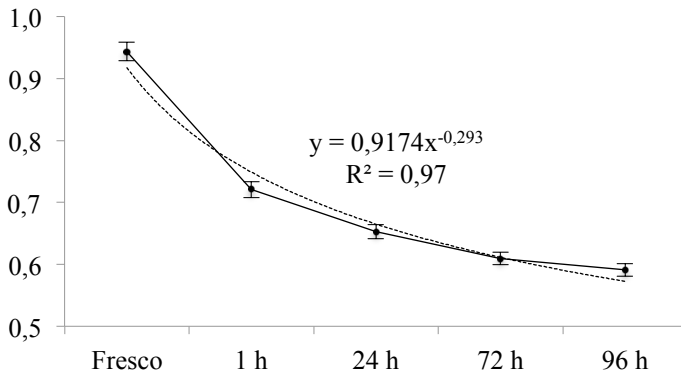


Fig. 4.18.- Evolución del peso de semilla (media [g] y error estándar) durante el proceso de secado (n=100).

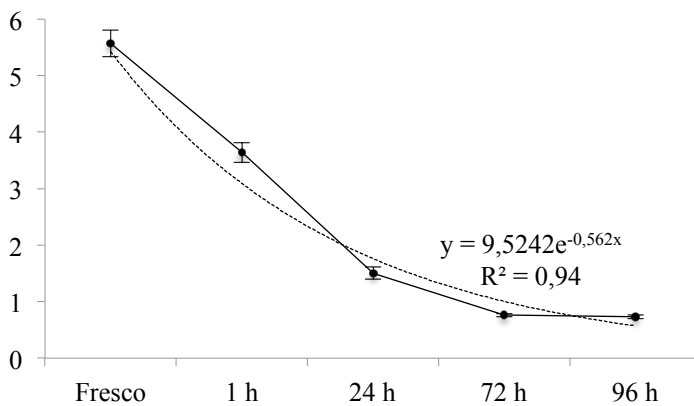


Fig. 4.19.- Evolución del peso del pericarpio (media [g] y error estándar) durante el proceso de secado (n=100).

Tabla 4.12.- Tamaño y peso ($\bar{x} \pm \text{St.E.}$) de las distintas partes del fruto en fresco y seco (n=100 frutos).

	Longitud fruto (cm)	Anchura fruto (cm)	Peso fruto (g)	Peso pericarpo (g)	Peso 3 semillas (g)
En fresco	2,821 \pm 0,048	2,482 \pm 0,023	8,161 \pm 0,246	5,481 \pm 0,172	2,660 \pm 0,092
En seco	2,436 \pm 0,037	1,999 \pm 0,021	2,417 \pm 0,043	0,707 \pm 0,019	1,707 \pm 0,025

$\bar{x} \pm \text{St.E.}$ (\bar{x} = Promedio. St.E. = Error estándar).

El peso de las semillas no se vio afectado por la variedad a la que pertenecen o el tratamiento aplicado en el cuadro experimental en que fueron recolectadas. A mediados de Enero 2011, se registró un peso seco de semilla de $0,746 \pm 0,012$ g (n=100), similar al obtenido en los muestreos de Julio 2011, de $0,725 \pm 0,011$ (n=100) para la variedad Cabo Verde, y $0,739 \pm 0,014$ (n=100) para la variedad autóctona de República Dominicana.

De las muestras empleadas para la extracción del aceite analizado, se registró un peso promedio de $27,48 \pm 0,45$ g para 40 semillas (n=10), de los cuales $17,78 \pm 0,25$ g corresponden al endospermo y embrión (que representa casi el 65% del peso de la semilla), y $9,70 \pm 0,24$ g al episperma (que representa aproximadamente el 35% restante del peso de la semilla). A partir de estos datos, posteriormente se calcularon los valores unitarios para cada parámetro, obteniendo un peso unitario de semilla de $0,69 \pm 0,01$ g, que se desglosa en $0,450 \pm 0,006$ g para endospermo y embrión, y $0,240 \pm 0,006$ g para el episperma.

Aunque en general el peso de la semilla se mostró constante, de los distintos muestreos realizados a lo largo del ensayo se observaron pequeñas variaciones, disminuyendo su valor en periodos secos frente a húmedos. Los frutos y semillas recolectadas al final del periodo de cosecha, tuvieron valores de peso y tamaño más bajos que los cosechados durante la misma. Para un mismo cuadro experimental, durante el periodo de mayor actividad de recolección (coincidiendo el periodo de precipitaciones) se registró un peso de semilla de $0,767 \pm 0,009$ g (n=100), mientras que de los últimos frutos cosechados ante el inicio del periodo seco se registró un valor de $0,575 \pm 0,016$ (n=100).

Para las semillas recolectadas en el año 2011, se estudió el peso registrado según el mes de cosecha (Julio, Septiembre y Noviembre) (Fig.

4.- Resultados

4.20). Del análisis de la varianza realizado, se apreciaron diferencias estadísticamente significativas, con un valor-P de 0,00, distinguiendo 3 grupos homogéneos, cada uno asociado a un mes. El mayor peso de las 40 semillas se registró en la cosecha de Septiembre (n=12), con un valor de $29,84 \pm 0,33$ g, seguido de $27,65 \pm 0,31$ g en Noviembre (n=6) y $26,37 \pm 0,39$ g en Julio (n=6). Estas estimaciones podrían sugerir que los mayores pesos de semilla acontecen en el periodo de máxima recolección, siendo inferiores en las fases iniciales y finales de cosecha, aunque sería necesario un mayor muestreo para proceder a su estudio. La cantidad cosechada no influyó en el peso de la semilla. En la práctica, estas cifras no son consideradas lo suficientemente distantes como para distinguir distintos pesos de semilla.

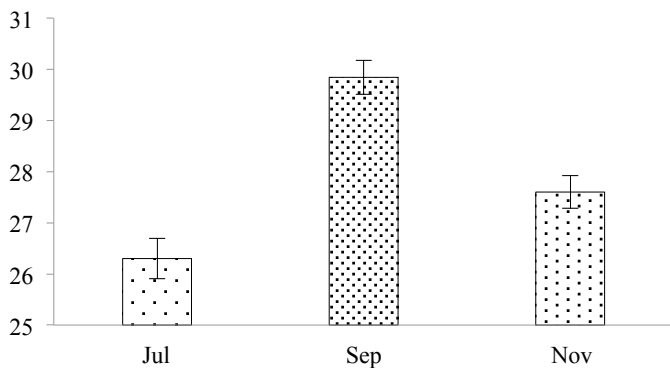


Fig. 4.20.- Peso de 40 semillas (media [g] y error estándar) recolectadas en Julio (n=6), Septiembre (n=12) y Noviembre 2011 (n=6).

El año de muestreo también tuvo una incidencia significativa en el peso de la semilla (valor-P = 0,00 < 0,05) (Fig. 4.21), lo que podría deberse a la influencia e importancia de las labores agrícolas y manejo del cultivo. Para el año 2011, el segundo del ensayo experimental, se obtuvo un promedio (n=24) en el peso de 40 semillas de $28,39 \pm 0,37$ g (promedio peso unitario = 0,71 g), mientras que para el 2012, en que el cultivo no recibió ningún cuidado, se registró un valor promedio (n=6) de $23,80 \pm 0,28$ g (promedio peso unitario = 0,59 g). El peso unitario de semilla se calculó como el promedio de las repeticiones para cada caso, dividido por el número de semillas que lo integra. Estas mismas diferencias se observaron cuando se consideraron el peso del endospermo y embrión, y también

episperma como variable dependiente, como claro reflejo de la correlación lineal existente entre estas variables. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas en el porcentaje que representan estas partes en la semilla.

El pequeño y desigual tamaño de la muestra (24 repeticiones de 40 semillas para 2011 y 6 repeticiones de igual número de semillas para 2012), invitan a tomar estas consideraciones con prudencia, de acuerdo con lo expuesto anteriormente.

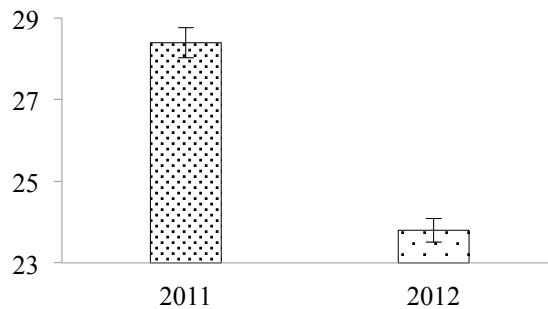


Fig. 4.21.- Peso de 40 semillas (media [g] y error estándar) obtenido para los años 2011 (n=24) y 2012 (n=6).

El tratamiento estadístico aplicado en el análisis del diseño experimental permitió estudiar la influencia de los factores considerados y sus interacciones sobre el rendimiento en peso seco de semilla. El valor-P obtenido en la prueba de falta de ajuste ($0,94 > 0,05$) incluida en el análisis del experimento, indicó que el modelo propuesto es adecuado para describir los datos observados.

A excepción del abonado, el resto de variables independientes propició diferencias estadísticamente significativas en el rendimiento (Tabla 4.13). Cabe resaltar la variedad y escarda (ambos con un valor-P de 0,000), teniendo el primero, además, un mayor peso sobre el rendimiento (el valor obtenido para la razón-F es 154,73, frente a 31,98 de la escarda). Su influencia ha sido tal que, la interacción entre ambos ha sido la única que ha resultado estadísticamente significativa, aunque de las otras realizadas, también se observan ciertas tendencias, como se comentará posteriormente.

4.- Resultados

Las interacciones triples y cuádruples tampoco resultaron estadísticamente significativas. De la prueba de múltiples rangos se determinaron que medias son significativamente diferentes (Tabla 4.14).

Tabla 4.13.- Valores obtenidos de Razón-F y Valor-P en el ANOVA multifactorial del diseño experimental. (P < 0,05).

Factor / Interacción	Razón-F	Valor-P
Variedad	154,73	0,000
Escarda	31,98	0,000
Altura surco	5,93	0,016
Marco plantación	5,63	0,019
Escarda * Variedad	3,96	0,048

Lo expuesto muestra su concordancia con la variabilidad del rendimiento observada para cada caso en el gráfico de efectos principales (Fig. 4.22). Nótese que las pendientes de las rectas correspondientes a los factores de variedad y escarda son las más pronunciadas, lo que es asociado a que en ambos casos se obtuvieron los valor-P más bajos del estudio. La línea correspondiente al abonado se muestra prácticamente perpendicular al eje de ordenadas dada su poca influencia sobre los resultados registrados.

Tabla 4.14.- Grupos homogéneos y rendimiento (\bar{x} en Kg/Ha) para cada nivel y factor.

Factor / Interacción	Nivel	$\bar{x} \pm \text{St.E.}$
Abonado	A1	320,03 \pm 24,06 ^a
	A2	332,24 \pm 24,69 ^a
Altura surco	S1	296,59 \pm 22,54 ^a
	S2	355,68 \pm 25,74 ^b
Escarda	E1	257,54 \pm 19,32 ^a
	E2	394,73 \pm 26,77 ^b
Marco de plantación	M1	354,92 \pm 26,69 ^a
	M2	297,35 \pm 21,43 ^b
Variedad	V1	175,24 \pm 10,01 ^a
	V2	477,03 \pm 24,69 ^b
Escarda x Variedad	E1 x V1	130,79 \pm 9,92 ^a
	E2 x V1	219,69 \pm 14,91 ^b
	E1 x V2	384,28 \pm 26,97 ^c
	E2 x V2	569,78 \pm 37,02 ^d

Superíndices a, b, c y d muestran grupos homogéneos con diferencias estadísticamente significativas (P<0,05).

\bar{x} = Promedio, St.E. = Error estándar.

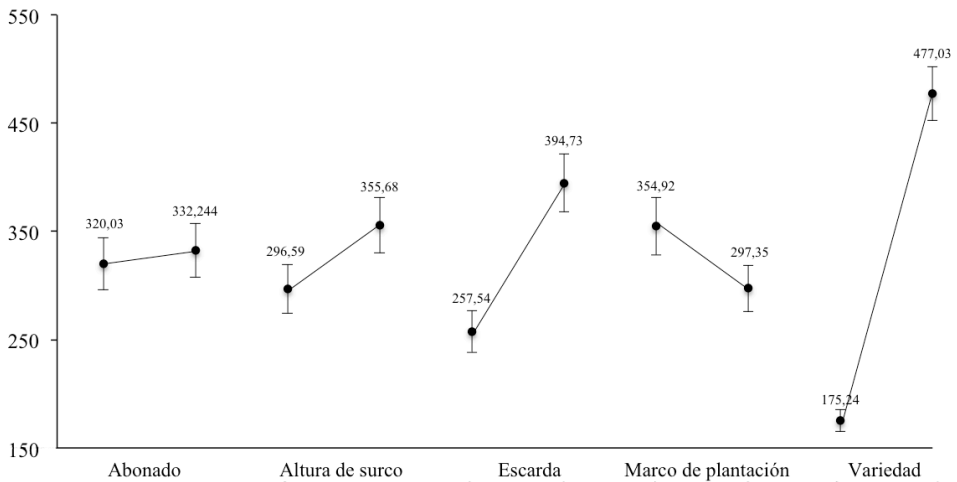


Fig. 4.22.- Efectos principales para rendimiento (Kg/Ha).

Los mayores valores se registraron en el tratamiento n° 13 (Tabla 4.15), al considerar marcos de plantación de 2,5x3 m, 150 Kg/Ha de abonado, alta frecuencia de escarda, surcos de 30 cm de altura y la variedad Cabo Verde, con un rendimiento medio entorno a 760 Kg/Ha ($\approx 0,57$ Kg/planta), repartidos en alrededor de 70 Kg/Ha ($\approx 0,05$ Kg/planta) para el primer año, y 690 Kg/Ha ($\approx 0,52$ Kg/planta) para el segundo. Para dicha variedad, el siguiente tratamiento que permitió un mayor rendimiento fue el n° 10, que contempla los mismos niveles para cada factor excepto para el abonado. Para la variedad autóctona dominicana, también en ambos tratamientos (junto al tratamiento n° 4), se registraron los mayores rendimientos, lo que puede deberse a que el factor abonado no resultó estadísticamente significativo. Para ambas variedades, los menores rendimientos se registraron en el tratamiento n° 16, esto es, marcos de plantación de 3x3 m, 100 Kg/Ha de abonado, baja frecuencia de escarda, y cultivo sin surcos. Le siguen los tratamientos 2, 6 y 8, todos ellos con una baja frecuencia de escarda.

4.- Resultados

Tabla 4.15.- Rendimiento (Kg/Ha) por tratamiento.

Tratamiento	Marco plantación	Abonado	Escarda	Altura surco	Variedad	Rendim. ($\bar{x} \pm \text{St.E.}$)
13	M1	A2	E2	S2	V2	759 ± 140
10	M1	A1	E2	S2	V2	686 ± 87
3	M1	A2	E2	S1	V2	609 ± 87
14	M2	A2	E2	S2	V2	547 ± 54
4	M2	A1	E2	S1	V2	541 ± 116
15	M2	A1	E2	S2	V2	530 ± 105
1	M1	A2	E1	S1	V2	490 ± 79
5	M2	A1	E1	S2	V2	471 ± 73
12	M1	A2	E1	S2	V2	447 ± 106
11	M1	A1	E2	S1	V2	445 ± 125
7	M1	A1	E1	S2	V2	444 ± 69
9	M2	A2	E2	S1	V2	438 ± 84
6	M1	A1	E1	S1	V2	344 ± 45
8	M2	A2	E1	S2	V2	312 ± 38
2	M2	A2	E1	S1	V2	295 ± 93
10	M1	A1	E2	S2	V1	273 ± 75
16	M2	A1	E1	S1	V2	267 ± 60
4	M2	A1	E2	S1	V1	259 ± 33
13	M1	A2	E2	S2	V1	221 ± 27
9	M2	A2	E2	S1	V1	213 ± 31
3	M1	A2	E2	S1	V1	213 ± 36
14	M2	A2	E2	S2	V1	205 ± 44
15	M2	A1	E2	S2	V1	191 ± 47
11	M1	A1	E2	S1	V1	180 ± 33
12	M1	A2	E1	S2	V1	167 ± 32
5	M2	A1	E1	S2	V1	163 ± 24
7	M1	A1	E1	S2	V1	136 ± 31
1	M1	A2	E1	S1	V1	135 ± 21
8	M2	A2	E1	S2	V1	132 ± 20
2	M2	A2	E1	S1	V1	125 ± 22
6	M1	A1	E1	S1	V1	124 ± 40
16	M2	A1	E1	S1	V1	61 ± 16

\bar{x} = Promedio. St.E. = Error estándar.

4.4.1.- Variedad.

De todos los factores estudiados, el de mayor incidencia en la productividad de semilla fue la variedad. La variedad Cabo Verde (V2), representó prácticamente el 72% de la cosecha, esto es, casi el triple que el la variedad local (V1) (Tabla 4.16, Fig. 4.23). Para el primer caso, se registró un rendimiento medio de 477 Kg/Ha, y para el segundo de 175 Kg/Ha (Fig. 4.24).

Las variedades Cabo Verde y la autóctona dominicana solamente brindaron resultados similares cuando fueron cultivadas bajo los tratamientos de menor productividad para el primer caso, y mayor para el segundo. Comparando la respuesta de ambas para un mismo tratamiento, para el caso de los más productivos, la variedad autóctona dominicana alcanzó, en el mejor de los casos, el 40% de la productividad obtenida para la variedad Cabo Verde. Estos porcentajes se mostraron similares para el grupo de los tratamientos menos productivos (2, 6, 8), aunque para el caso concreto del n° 16 (el de rendimientos más bajos) descendió hasta el 23%.

Tabla 4.16.- Rendimientos (Kg/Ha) registrados para cada variedad en distintas épocas en toda la plantación.

Meses	V1	V2	Total
Dic10-Ene11	15,10	48,44	31,77
Jul-Ago11	56,25	136,98	96,61
Sep-Oct11	65,10	168,75	116,93
Nov-Dic11	50,52	125,52	88,02

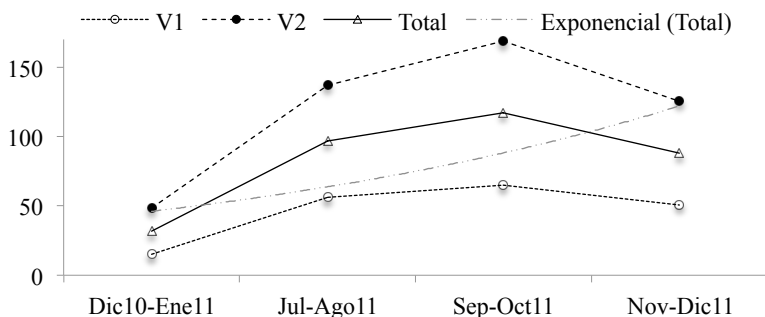


Fig. 4.23.- Rendimiento (Kg/Ha) registrado para cada variedad a lo largo un periodo anual de cultivo.

4.- Resultados

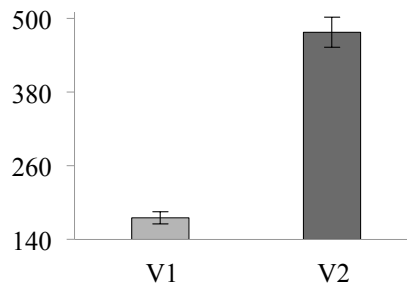


Fig. 4.24.- Resultados del ANOVA para el rendimiento de semilla (media [Kg/Ha] y error estándar) en función de la variedad.

En la fisionomía de las plantas y aspectos fenológicos no se registraron diferencias notables entre variedades. De acuerdo a la productividad, el porcentaje de plantas con flores y/o frutos fue superior para la variedad Cabo Verde (V2) (Fig. 4.25).

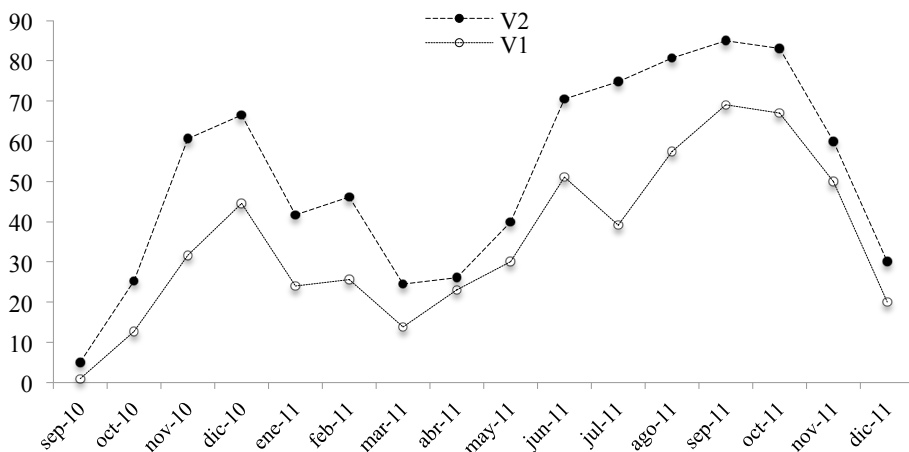


Fig. 4.25.- Porcentaje de plantas con flores y/o frutos para cada variedad durante el periodo Oct 2010 – Dic 2011.

4.4.2.- Escarda.

La escarda es el segundo factor que ha resultado más significativo sobre el rendimiento del cultivo. Una mayor frecuencia (E2) repercutió en una mayor productividad, lo que pone de manifiesto la fuerte competitividad de las arvenses con el cultivo por los recursos del medio. Su

influencia sobre el rendimiento ha sido tal que su interacción con la variedad (con el mismo valor-P de 0,000) es la única que ha resultado estadísticamente significativa. Considerando las variedades por separado, la productividad en los tratamientos con escarda ha sido de hasta 1,5 veces superior en el caso de la variedad Cabo Verde, y 1,7 en el caso de la autóctona dominicana.

Exceptuando las escardas mínimas y comunes a todos los cuadros durante la primera fase, a fin de prevenir la competencia de las arvenses con el desarrollo del cultivo (dada la rápida propagación, colonización y desarrollo de las arvenses en esa época, mayor que la de *J. curcas*), este factor se inició cuando la planta ya había alcanzado un adecuado grosor y altura de tallos, poniendo en práctica las dos frecuencias establecidas en el diseño. Se realizaron 6 escardas en los cuadros con baja frecuencia, y 9 en los de alta. La mayoría se realizaron durante el periodo húmedo.

De acuerdo con lo adelantado en el capítulo de materiales y métodos, en la escarda se puso en práctica el “mulching”. De las arvenses localizadas en la plantación, la abundante gramínea *Eragrostis barrelieri* Dav., es la que más se adecuaría a los objetivos perseguidos, dada su uniformidad a lo largo del terreno, y su anatomía, parecida a la paja, que queda depositada formando capas sobre el suelo.

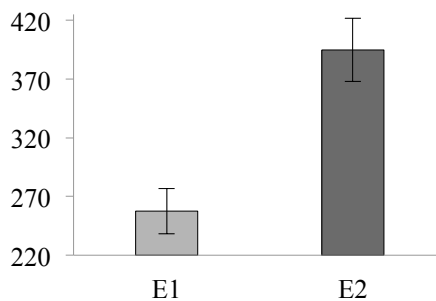


Fig. 4.26.- Resultados del ANOVA para el rendimiento de semilla (media [Kg/Ha] y error estándar) basado en la escarda.

4.- Resultados

4.4.2.1.- Subecosistema arvense.

El catálogo florístico está compuesto por especies anuales de comportamiento arvense y otras plántulas compañeras consideradas como “residuales”, propias del estrato arbustivo o herbáceo de los bosques de la zona. Los casos más comunes y de rápida germinación son los referentes a *Acacia macracantha* Humb. & Bonpl. ex Willd y *Prosopis juliflora* (Sw.) DC., que también puede propagarse mediante esquejes de tallo. Ambas plántulas emergen del suelo casi al mismo ritmo que las arvenses anuales (aunque con densidades mucho inferiores). Las 26 especies incluidas en los inventarios se agrupan en un total de 16 familias (Tabla 4.17), siendo leguminosas y euforbiáceas las más abundantes.

Tabla 4.17.- Características sistemáticas de especies arvenses.

Familia	Nº especies	Familia	Nº especies
Acantáceas	1	Fabáceas	5
Amarantáceas	2	Malpigiáceas	1
Asclepiadáceas	1	Malváceas	1
Asteráceas	2	Nictagináceas	1
Crasuláceas	1	Papaveráceas	1
Cucurbitáceas	2	Poáceas	1
Esterculiáceas	1	Portulacáceas	1
Euforbiáceas	4	Verbenáceas	1

Todas las especies incluidas en el catálogo florístico son capaces de propagarse por semilla, aunque algunas de ellas recurren a la propagación asexual.

ACANTÁCEAS

- *Ruellia tuberosa* L. (batatilla, cricrá, guací, lía huevos, pensamiento haitiano, periquito, tiqui-taque). Geófito bulboso. Vivaz. Pantropical. Común en la isla, generalmente a bajas altitudes, con floraciones más densas en ambientes sombríos. Dispersión de semillas balócora y propagación asexual mediante esquejes. Anatomía tipo no C₄. Sus raíces tuberosas son empleadas como remedio frente a problemas renales.

AMARANTÁCEAS

- *Amaranthus crassipes* Schltl. (bledo raniao). Terófito reptante. Oriunda de América, actualmente cosmopolita. Arvense generalmente en lugares baldíos. Metabolismo C₄.
- *Amaranthus viridis* L. (bledo parado). Terófito erecto. De origen tropical, actualmente de distribución cosmopolita, ya que también se encuentra en regiones subtropicales y templadas. Arvense común en la isla, en terrenos alterados o cultivados. Metabolismo C₄. Presenta propiedades medicinales y alto valor nutricional. Usada como alimento para ganado.

ASCLEPIADÁCEAS

- *Cryptostegia grandiflora* (Roxb.) R.Br. (bejuco de caucho, bejuco de leche, caucho, caucho de la India, palo de caucho, vara de coche). Fanerófito escandente. Nativa de Madagascar, pantropical. Dispersión de semillas anemócora e hidrócora. En bosques secos y húmedos, y en zonas de actividad antrópica. Frecuente en la orilla de ríos y canales. Laticífera.

ASTERÁCEAS

- *Bidens cynapiifolia* Kunth. (aceitillo, alfiler, cadillito). Terófito erecto. Neotropical, ampliamente distribuida. Arvense común en la isla.
- *Parthenium hysterophorus* L. (bruca amarga, escoba de puerco, escobita amarga, friega platos, hierba amarga, hierba blanca, hierba de burro). Terófito. Neotropical, introducida en África y Asia. Arvense común en la isla. Anatomía tipo C₄. Fisiología intermedia C₃-C₄. Usada como alimento para ganado.

CRASULÁCEAS

- *Kalanchoë daigremontiana* Hamet & Perrier (brujo criollo, mal padre, topi-topo). Caméfito. Vivaz. Nativa de Madagascar, de distribución pantropical.

4.- Resultados

Generalmente en regiones secas. Propagación asexual por esquejes y rizomas. Su capacidad reproductiva y resistencia a la sequía son tales que, tras meses de estar prensado y herborizado su material vegetal, ha seguido rebrotando. Metabolismo CAM.

CUCURBITÁCEAS

- *Cucumis anguria* L. (cocombro, concombros, cohombros, pepinillo, pepino cimarrón). Hemiscriptófito. Pantropical, nativa de África. Común en bosques de sabana, pastizales y hábitats semiáridos, también observada como arvense en zonas cultivadas. Fisiología tipo C₃.
- *Momordica charantia* L. (cundeamor, sorosí). Terófito. Pantropical, nativa de África tropical. Arvense común en toda la isla.

EUFORBIÁCEAS

- *Chamaesyce berteriana* (Balb. ex Spreng.) Millsp. (mal casada, marcasá, sanguinaria). Terófito. Neotropical. Arvense común en la isla. Fisiología C₄.
- *Croton ovalifolius* Vahl. (barraquito, escoba). Caméfito. Vivaz. Neotropical. Anatomía tipo no C₄. Tóxica. Usada localmente para fabricar escobas.
- *Euphorbia heterophylla* L. (leche vana, lechecilla, mata de leche, sanguinaria, hierba de leche). Terófito. Nativa de Centro y Sur América, actualmente extendida a regiones tropicales y subtropicales. Tiene un ciclo tan corto que puede completar hasta 4 generaciones en un año. Arvense en toda la isla. Laticífera, tóxica.
- *Jatropha gossypifolia* L. (Piñón de España, Tatúa, Túa-túa, yuca cimarrona). Geófito rizomatoso. Neotropical, escapada del cultivo y naturalizada tropical en la actualidad. Arvense común en la isla. En regiones áridas con estaciones secas pronunciadas. Propagación asexual por rizomas o esqueje de tallo, aunque por lo visto en campo los porcentajes de éxito son escasos. Tóxica. Anatomía tipo no C₄. Fisiología C₃.

ESTERCULIÁCEAS

- *Guazuma ulmifolia* Lam. (guácima). Fanerófito. Neotropical. Común en la isla, sobretodo en terrenos calizos. Propagación asexual por esquejes de tallo o raíz.

LEGUMINOSAS

- *Acacia macracantha* Humb. & Bonpl. ex Willd. (acacia, aroma, cambrón, carambomba). Fanerófito. Neotropical. Común en toda la isla, prefiriendo lugares con periodos marcados por la sequía. Aprovechamiento localmente maderero para cercar terrenos.
- *Prosopis juliflora* (Sw.) DC. (algarrobo, bayahonda, bayahonda blanca, cambrón, mezquite). Fanerófito. De origen paleotropical, actualmente distribuida en el trópico, en bosques secos y semi-secos. Común en toda la isla. Sus frutos son ramoneados por el ganado, favoreciendo así su dispersión. Propagación asexual mediante esquejes de tallo. Aprovechamiento localmente maderero para cercar terrenos.
- *Senna occidentalis* (L.) Link. (brusca, brusca hembra, brusca macho, brusca negra). Nanofanerófito. Pantropical. Arvense muy común en la isla. Anatomía tipo no C₄. Fisiología tipo C₃.
- *Senna atomaria* (L.) H.S.Irwin & Barneby (bruscón, palo de burro, palo de chivo, sopaipo extranjero). Fanerófito. Neotropical. Común en bosques secos y semi-secos de la isla. Anatomía tipo no C₄. Fisiología tipo C₃. Aprovechamiento maderero.
- *Senna angustisiliqua* (Lam.) H.S.Irwin & Barneby (carga agua). Nanofanerófito. Neotropical. Anatomía tipo no C₄. Fisiología tipo C₃.

4.- Resultados

MALPIGIÁCEAS

- *Bunchosia glandulosa* (Cav.) D.C. (cabra, cabra hedionda, cabrita, palo de cabra). Fanerófito. Neotropical. Común en toda la isla. Aprovechamiento maderero.

MALVÁCEAS

- *Malvastrum corchorifolium* (Desr.) Britton ex Small (escoba, escoba de puerco). Caméfito. Anual o perenne. Neotropical. Arvense común en la isla.

NICTAGINÁCEAS

- *Boerhavia erecta* L. Terófito. Nativa de América, actualmente de distribución pantropical. Arvense común en la isla. En terrenos baldíos y agrícolas, preferentemente con estaciones secas prolongadas. Fisiología tipo C₄.

PAPAVERÁCEAS

- *Argemone mexicana* L. (cardo santo). Terófito. Nativa de América Tropical, naturalizada en el *Viejo Mundo*, pantropical. Arvense común en la isla, sobretodo en terrenos yermos, con periodos secos prolongadas. Fisiología tipo C₃. Contiene berberina.

POÁCEAS

- *Eragrostis barrelieri* Dav. (tripa de pollo). Terófito cespitoso. Naturalizada cosmopolita, tiene su origen en la región mediterránea - oeste de la sahariana. Metabolismo C₄.

PORTULACÁCEAS

- *Portulaca rubricaulis* Kunth. (verdolaga). Terófito reptante. Neotropical, oriunda de Centroamérica. Común en la isla. Metabolismo C₄.

VERBENÁCEAS

- *Lantana camara* L., (según color de sus pétalos; morita y orégano cimarrón (morado), doña sanita (naranja), otros: doña Ana, verbena). Nanofanerófito. Vivaz. Neotropical, naturalizada cosmopolita. General en los trópicos, en bosques y como arvense en sistemas antrópicos. Anatomía tipo no C₄. Fisiología tipo C₃.

Otras arvenses de escasa presencia, o no registradas en el cultivo durante la toma de muestras del inventario pero si en otros periodos son:

Achyranthes aspera L., *Alternanthera caracasana* H.B.K., *Amaranthus spinosus* L., *Celosia argentea* L. (Amarantáceas), *Eleutheranthera ruderalis* (Sw.) Sch. Bip., *Pectis linifolia* L., *Tridax procumbens* L. (Asteráceas), *Cordia microphylla* Roem. et Schult. (Boragináceas), *Cleome viscosa* L. (Capparáceas), *Cyperus rotundus* L. (Ciperáceas), *Commelina benghalensis* L. (Commelináceas), *Kalanchoë integra* (Medik.) Kuntze. (Crasuláceas), *Croton lobatus* L. (Euforbiáceas), *Melochia* sp. (Esterculiáceas), *Rivina humilis* L. (Fitolacáceas), *Leonotis nepetifolia* (L.) R. Br., *Ocimum sanctum* L. (Labiadas), *Sida ciliaris* L., *Sida glabra* Mill. (Malváceas), *Martynia annua* L. (Martyniáceas), *Chloris* sp., *Eleusine indica* (L.) Gaertn., *Panicum maximum* Jacq., *Rhynchelitrum repens* (Willd.) Hubb., *Setaria geniculata* P. Beauv., *Tragus berteronianus* Schult. (Poáceas), *Spermacoce prostrata* Aubl. (Rubiáceas), *Datura innoxia* Mill., *Datura metel* L., *Physalis pubescens* L. (Solanáceas), *Bouchea prismatica* (L.) Ktze., *Lippia nodiflora* (L.) Michx., y *Priva lappulacea* (L.) Pers. (Verbenáceas).

Nombre científico	Nombre común en El Cigual	Familia	Biotipo	Corología	Anatomía	Fisiología
<i>Acacia macracantha</i> Humb. & Bonpl. ex Willd	Cambrón	Fabáceas	Fanerófito	Neotropical		
<i>Amaranthus crassipes</i> Schldl.	Bledo raniao	Amarantiáceas	Terófito reptante	Cosmopolita	C4	C4
<i>Amaranthus viridis</i> L.	Bledo	Amarantiáceas	Terófito erecto	Cosmopolita	C4	C4
<i>Argemone mexicana</i> L.	Cardosantos	Papaveráceas	Terófito	Pantropical		C3
<i>Bidens cynapiifolia</i> Kunth.	Cadillito	Asteráceas	Terófito erecto	Neotropical		
<i>Boerhavia erecta</i> L.	-	Nictagináceas	Terófito	Pantropical		C4
<i>Bunchostia glandulosa</i> (Cav.) DC.	Cabrita	Malpigiáceas	Fanerófito	Neotropical		
<i>Chamaesyce berteriana</i> (Balb. ex Spreng.) Millsp.	Marcasá , malcasada	Euforbiáceas	Terófito	Neotropical		C4
<i>Croton ovalifolius</i> Vahl.	Barraquito, escoba	Euforbiáceas	Caméfito	Neotropical	no C4	
<i>Cryptostegia grandiflora</i> (Roxb.) R.Br.	Bejuco de leche	Asclepiadácea	Fanerófito escandente	Pantropical		C3
<i>Cucumis anguria</i> L.	Pepino cimarrón	Cucurbitáceas	Hemicriptófito	Pantropical		C4
<i>Eragrostis barrelieri</i> Dav.	Tripa de pollo	Poáceas	Terófito cespitoso	Cosmopolita		
<i>Euphorbia heterophylla</i> L.	Mata de leche	Euforbiáceas	Terófito	Pantropical		
<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	Guácima	Esterculiáceas	Fanerófito	Neotropical		
<i>Jatropha gossypifolia</i> L.	Túa - Túa	Euforbiáceas	Geófito rizomatoso	Neotropical	no C4	C3
<i>Kalanchoë daigremontiana</i> Hamet & Perrier	Brujo criollo, malpadre	Crasulácea	Caméfito	Pantropical		CAM
<i>Lantana camara</i> L.	Orégano cimarrón	Verbenáceas	Nanofanerófito	Cosmopolita	no C4	C3
<i>Mabustrum corchorifolium</i> (Desr.) Britton ex Small	-	Malváceas	Caméfito	Neotropical		
<i>Momordica charantia</i> L.	Sorosí	Cucurbitáceas	Terófito	Pantropical		
<i>Parthenium hysterophorus</i> L.	Bruca amarga	Asteráceas	Terófito	Neotropical	C4	C3-C4
<i>Portulaca rubricaulis</i> Kunth	Verdolaga	Portulacáceas	Terófito reptante	Neotropical	C4	C4
<i>Prosopis juliflora</i> (Sw.) DC.	Bayahonda	Fabáceas	Fanerófito	Pantropical		
<i>Ruellia tuberosa</i> L.	Crietrá	Acantáceas	Geófito bulboso	Pantropical	no C4	
<i>Senna angustisiliqua</i> (Lam.) H.S.Irwin & Barneby	Carga agua	Fabáceas	Nanofanerófito	Neotropical	no C4	C3
<i>Senna atomaria</i> (L.) H.S.Irwin & Barneby	Palo de burro	Fabáceas	Fanerófito	Neotropical	no C4	C3
<i>Senna occidentalis</i> (L.) Link	Bruca prieta	Fabáceas	Nanofanerófito	Pantropical	no C4	C3

Tabla 4.18.- Lista y características de las especies.



Fig. 4.27.- Especies inventariadas en la parcela experimental. a) *Boerhavia erecta* L. b) Inflorescencia de *Amaranthus viridis* L. c) Flores de *Jatropha gossypifolia* L. d) Flores de *Parthenium hysterophorus* L. e) Flor de *Portulaca rubricaulis* Kunth. f) *Acacia macracantha* Humb. & Bonpl. ex Willd. g) Fruto de *Momordica charantia* L.

4.- Resultados

El espectro biológico queda compuesto con los siguientes porcentajes (Fig. 4.28a): Caméfitos (12%), Fanerófitos (23%), Geófitos (8%), Hemicriptófitos (4%), Nanofanerófitos (12%) y Terófitos (42%). Dominan las formas propias de especies anuales frente a otras formas biológicas. La gran cantidad de fanerófitos, que representan las especies “residuales” de los bosques resulta, cuanto menos, llamativa.

En el espectro corológico (Fig. 4.28b) se distinguen cosmopolita (15%), neotropical (46%) y pantropical (39%). No obstante, a partir de las fuentes consultadas, e independientemente del origen de cada taxón, se observa una tendencia a la distribución pan-neotropical. El tipo de metabolismo que predomina en las plantas cuya fisiología se ha estudiado es C₃ y C₄. Al margen, cabe destacar el metabolismo CAM de la crasulácea *Kalanchoë daigremontiana* Hamet & Perrier, y el intermedio de la compuesta *Parthenium hysterophorus* L.

Si bien era de esperar la presencia de varias plantas C₄, debido a que presentan una mayor tasa asimilatoria que las C₃ a elevadas temperaturas (Elheringer *et al.*, 1991), y junto a las de metabolismo CAM presentan adaptaciones específicas para sobrevivir en ambientes en los que la pérdida de agua junto con la fijación de carbono pueden comprometer la supervivencia y desarrollo de la especie (Black, 1986), se debe resaltar que también existen especies con fotosíntesis C₃, de las que destacan las pertenecientes al género *Senna sp.* de las leguminosas, y *Jatropha gossypifolia* L., abundante y característica de la zona, lo que puede suponer una competencia para *J. curcas*.

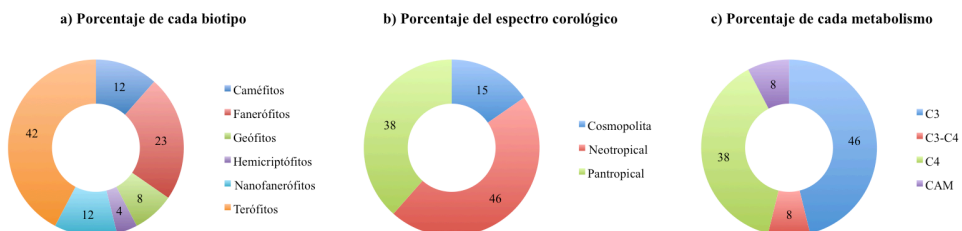


Fig. 4.28.- a) Porcentaje de cada biotipo. b) Porcentaje del espectro corológico. c) Porcentaje de cada metabolismo.

Según los grupos dicotómicos obtenidos (Tabla 4.19) en el segundo nivel, de la matriz resultante del análisis Twinspan se pueden establecer cuatro asociaciones florísticas.

➤ Asociación *Bidens cynapiifolia* Kunth. - *Jatropha gossypifolia* L. (Bide_Jatr en Tabla 4.19). Constituida por 16 especies en 15 inventarios. Ambas especies características registran sus índices sintéticos más elevados (III^{0,95} y IV^{1,65}), al igual que *Malvastrum corchorifolium* (Desr.) Britton ex Small (V^{3,27}), que junto a *Eragrostis barrelieri* Dav. está presente en todos los inventarios vinculados a este grupo.

➤ Asociación *Bidens cynapiifolia* Kunth. - *Boerhavia erecta* L., con índices sintéticos III^{0,79} y III^{1,29} (Bide_Bohe en Tabla 4.19). Este segundo grupo es el más amplio en cuanto al número de especies que lo compone (formada por 25 especies en 33 inventarios). Cabe destacar la agrupación de 6 taxones de distintas características; por una parte *Euphorbia heterophylla* L. y *Parthenium hysterophorus* L. como plantas anuales de ecología arvense, similar a las perennes *Croton ovalifolius* Vahl. y *Ruellia tuberosa* L., mientras que *Bunchosia glandulosa* (Cav.) DC. y *Cryptostegia grandiflora* (Roxb.) R.Br., incluidas en el subgrupo de las compañeras, y casi exclusivas de esta asociación, son especies propias de los bosques de la zona, y que por tanto, se pueden considerar “residuales”. Todas ellas registran sus mayores índices de abundancia-dominancia en este grupo.

➤ Asociación *Amaranthus viridis* L. - *Portulaca rubricaulis* Kunth, con índices sintéticos III^{1,56} y IV^{1,86}, respectivamente (Amar_Port en Tabla 4.19). Constituida por 23 especies en 39 inventarios, es la más presente en el terreno. Por lo visto en campo, ambas presentan una elevada capacidad invasora, sobre todo para el primer caso, en el que a partir de primavera, se aprecia una mayor propagación y biomasa, e inicio de su floración.

➤ Asociación *Amaranthus viridis* L. - *Momordica charantia* L., con índices sintéticos V^{2,89} y IV^{0,57} (Amar_Momo en Tabla 4.19). Formada por 13 especies en 9 inventarios, es el grupo más pequeño, lo que podría encontrar una razón en que *Momordica charantia* L. no tiene la capacidad

4.- Resultados

invasora de las otras arvenses. Se caracteriza, entre otros, por el protagonismo del género *Amaranthus* L. En primer lugar, porque *Amaranthus viridis* L. está presente en todos sus inventarios, con un mayor grado de abundancia en aquellos cuadros más cercanos al núcleo residencial (debido a su condición de nitrófila). En segundo lugar, porque la otra especie del género en el catálogo florístico, *Amaranthus crassipes* Schldl. es exclusiva de este grupo. Es de interés destacar las pocas especies compañeras que lo componen (solo *Acacia macracantha* Humb. & Bonpl. ex Willd), en comparación con las otras asociaciones.

Los inventarios resultantes de la primera división dicotómica, se integran en dos niveles sintaxonómicos superiores. En el primero, y probablemente a nivel de alianza, las asociaciones Ass. *Bidens-Jatropha* y Ass. *Bidens-Boerhavia*, tienen como especie común a *Bidens cynapiifolia* Kunth. Esto tiene su justificación en que dicho taxón es casi exclusivo de estas dos asociaciones frente a las dos restantes. *Ruellia tuberosa* L. y *Bunchosia glandulosa* (Cav.) DC. (compañera) si se muestran exclusivas para este caso. En la otra parte obtenida de la primera dicotomía, *Amaranthus viridis* L., *Momordica charantia* L. y *Portulaca rubricaulis* Kunth están mucho más presentes, y se muestran características de estos grupos (Ass. *Amaranthus-Portulaca* y Ass. *Amaranthus-Momordica*), teniendo como especie común en este caso a la primera.

En el tercer nivel, se profundiza algo más en el estudio de las afinidades ecológicas; de la dicotomía en la Ass. *Bidens-Jatropha*, se distinguen dos subgrupos, diferenciados por la presencia de *Amaranthus viridis* L. y *Boerhavia erecta* L. en cada uno de ellos. De la Ass. *Bidens-Boerhavia*, la división ha permitido distinguir entre el subgrupo en el que abunda *Portulaca rubricaulis* Kunth, y el que abundan otras varias que componen la asociación. En la Ass. *Amaranthus-Portulaca*, parece que es la presencia de la planta compañera *Kalanchoë daigremontiana* Hamet & Perrier la que influye en la división dicotómica, aunque esta distinción queda algo menos definida que el resto. Finalmente, en la Ass. *Amaranthus-Momordica* se diferencia un grupo marcado por la presencia de *Jatropha gossypifolia* L. y *Malvastrum corchorifolium* (Desr.) Britton ex Small, y

otro caracterizado por la exclusividad de *Amaranthus crassipes* Schltld. y unos mayores valores registrados para *Boerhavia erecta* L.

Se considera que estas especies no atienden tan estrictamente a factores ecológicos como para diferenciar entre todas las asociaciones propuestas en el nivel 3, por lo que se ha optado por considerar las establecidas en el nivel 2.

Por otra parte, se han obtenido los índices sintéticos (Tablas A.4, A.5, A.6 y A.7) para cada especie, referenciados en la descripción de las asociaciones al inicio del apartado, lo que ha permitido cuantificar su grado de presencia - abundancia para cada agrupación.

Respecto a la influencia de los factores adoptados en el diseño experimental sobre la distribución de la comunidad arvense, se ha observado que ninguno de ellos ha influido de manera estadísticamente significativa ($P\text{-valor} > 0,05$), aunque como se discutirá posteriormente, si que se aprecian diversas tendencias (Tabla 4.20-4.23; Fig. 4.29-4.32).

Tabla 4.20.- Valores medios de los abonados (100 y 150 Kg/Ha) correspondientes a los cuadros donde está presente cada asociación.

Asociación	$\bar{X} \pm \text{St.E.}$
Amar_Momo	$133,33 \pm 8,33$
Amar_Port	$123,08 \pm 4,04$
Bide_Bohe	$121,21 \pm 4,37$
Bide_Jatr	$133,33 \pm 6,30$

\bar{X} = Promedio. St.E. = Error estándar.

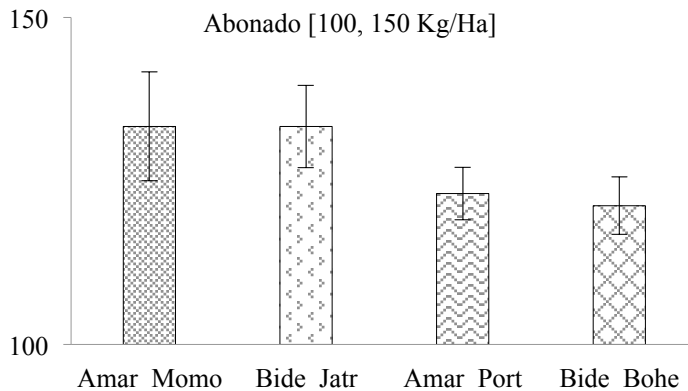


Fig. 4.29.- Representación gráfica de resultados (media y error estándar) obtenidos para el factor abonado en el ANOVA.

Tabla 4.21.- Valores medios de las escardas (baja frecuencia = 6 prácticas; alta frecuencia = 9 prácticas) correspondientes a los cuadros donde está presente cada asociación.

Asociación	$\bar{X} \pm \text{St.E.}$
Amar_Momo	$7,67 \pm 0,53$
Amar_Port	$7,46 \pm 0,24$
Bide_Bohe	$7,73 \pm 0,26$
Bide_Jatr	$7,00 \pm 0,38$

\bar{X} = Promedio. St.E. = Error estándar.

4.- Resultados

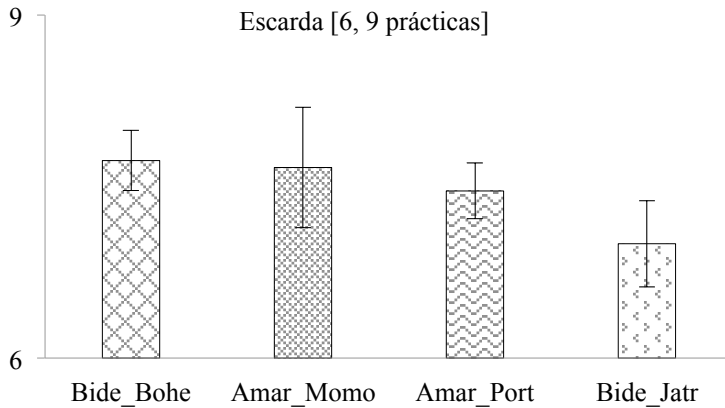


Fig. 4.30.- Representación gráfica de resultados (media y error estándar) obtenidos para el factor escarda en el ANOVA.

Tabla 4.22.- Valores medios de las densidades de plantación (7,5 m² [=2,5x3 m] y 9 m² [=3x3 m]) correspondientes a los cuadros donde está presente cada asociación.

Asociación	$\bar{x} \pm \text{St.E.}$
Amar_Momo	8,00 \pm 0,25
Amar_Port	8,38 \pm 0,12
Bide_Bohe	8,23 \pm 0,13
Bide_Jatr	8,10 \pm 0,20

\bar{x} = Promedio. St.E. = Error estándar.

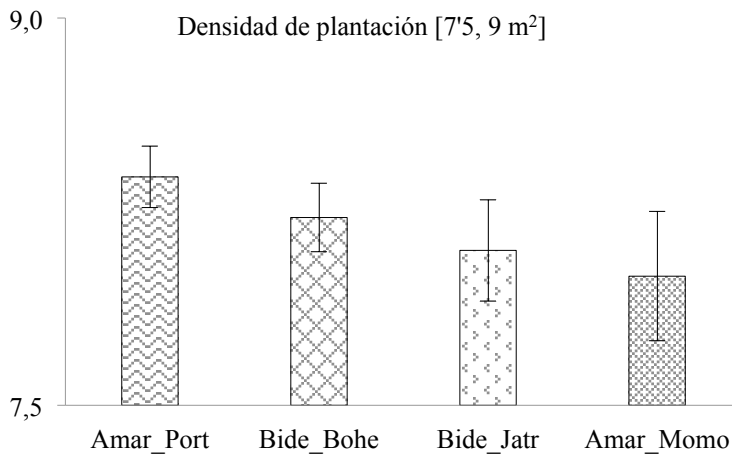


Fig. 4.31.- Representación gráfica de resultados (media y error estándar) obtenidos para el factor marco de plantación en el ANOVA.

Tabla 4.23.- Valores medios de la formación de surcos (0 y 30 cm) correspondiente a los cuadros donde está presente cada asociación.

Asociación	$\bar{x} \pm \text{St.E.}$
Amar_Momo	13,33 \pm 5,27
Amar_Port	16,15 \pm 2,43
Bide_Bohe	15,45 \pm 2,65
Bide_Jatr	12,00 \pm 3,93

\bar{x} = Promedio. St.E. = Error estándar.

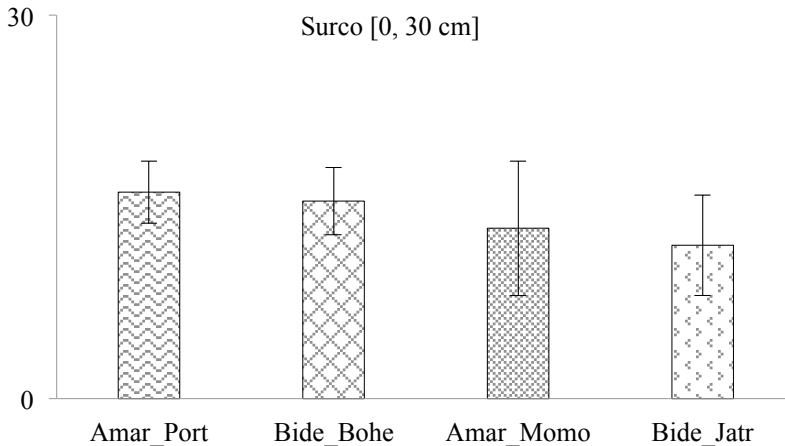


Fig. 4.32.- Representación gráfica de resultados (media y error estándar) obtenidos para el factor surco en el ANOVA.

4.4.3.- Altura de surco.

Los mayores rendimientos se registraron cuando se aporcan surcos de 30 cm (S2 en Fig. 4.33), lo que se relaciona, entre otras cosas, con su capacidad de retención de humedad.

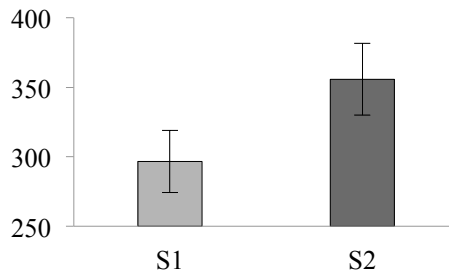


Fig. 4.33.- Resultados del ANOVA para el rendimiento de semilla (media [Kg/Ha] y error estándar) basado en la altura de surco.

4.- Resultados

4.4.4.- Marco de plantación.

En cuanto al marco de plantación (Fig. 4.34), se observa que la productividad es mayor con marcos de 2,5x3 m (M1) frente a 3x3 m (M2).

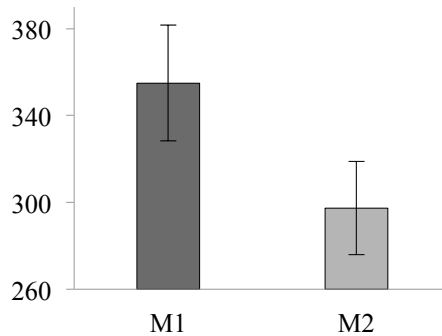


Fig. 4.34.- Resultados del ANOVA para el rendimiento de semilla (media [Kg/Ha] y error estándar) en función del marco de plantación.

4.4.5.- Interacción de factores.

La única interacción que ha resultado ser estadísticamente significativa es la definida por las variables escarda y variedad, de tal manera que la variedad Cabo Verde (V2) siempre se ha mostrado más productiva que la autóctona de República Dominicana (V1), y que para cada una de ellas, en los cuadros con una mayor frecuencia de escarda (E2) se registraron mayores rendimientos que en los de baja frecuencia (E1) (Fig. 4.35 y 4.36).

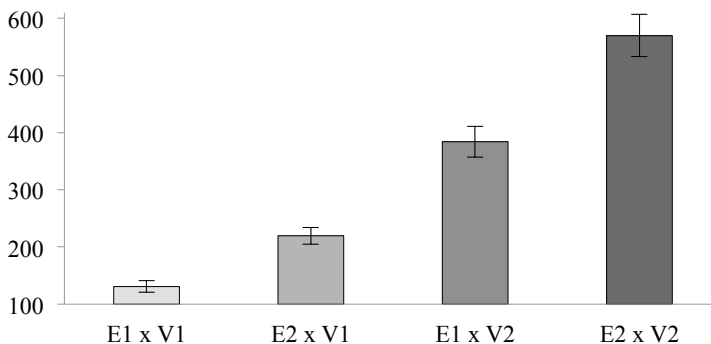


Fig. 4.35.- Resultados del ANOVA para el rendimiento de semilla (media [Kg/Ha] y error estándar) basado en la interacción escarda (E) x variedad (V).

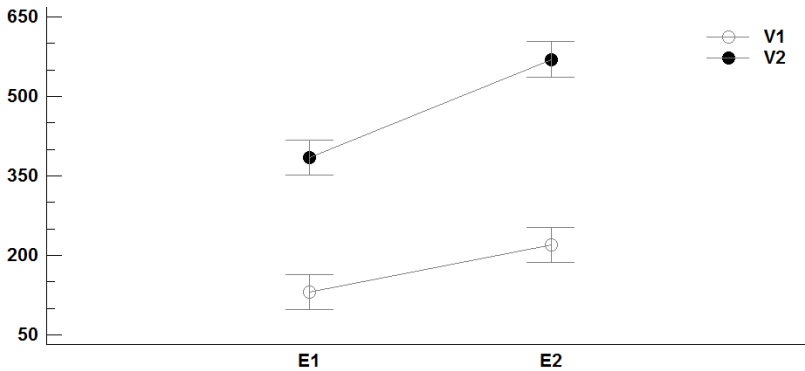


Fig. 4.36.- Gráfico de la interacción escarda (E) x variedad (V) para la variable rendimiento (Kg/Ha) con el intervalo LSD.

4.4.6.- Consideraciones respecto al resto de los factores.

El abonado no presentó diferencias estadísticamente significativas (Fig. 4.37).

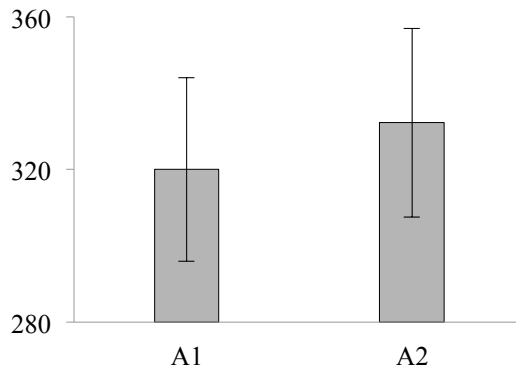


Fig. 4.37.- Resultados del ANOVA para el rendimiento de semilla (media [Kg/Ha] y error estándar) basado en el abonado.

Por otra parte, para la interacción entre el marco de plantación y variedad, se observa una tendencia (valor- $P=0,064 > 0,05$), muy influenciada por el factor de la variedad. Los resultados (Tabla 4.24) sugieren que la variedad Cabo Verde (V2) es más sensible a la variabilidad del marco de plantación que la variedad autóctona dominicana (V1) (Fig. 4.38 y 4.39).

4.- Resultados

Tabla 4.24.- Rendimiento (Kg/Ha) basado en la interacción marco de plantación (M) x variedad (V).

M1 x V1	181,44 ± 14,91 ^a
M2 x V1	169,04 ± 13,45 ^a
M2 x V2	425,66 ± 32,23 ^b
M1 x V2	528,40 ± 37,10 ^c

Superíndices a, b, y c muestran grupos homogéneos con diferencias estadísticamente significativas (P<0,05).
 $\bar{x} \pm \text{St.E.}$ (\bar{x} = Promedio. St.E. = Error estándar.)

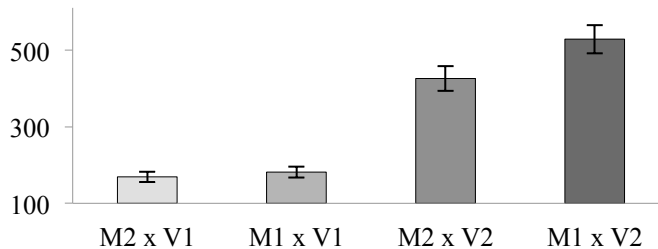


Fig. 4.38.- Rendimiento (media [Kg/Ha] y error estándar) para la interacción marco de plantación (M) x variedad (V).

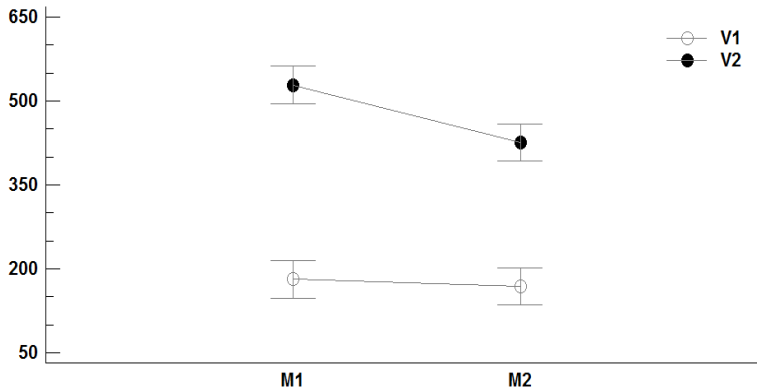


Fig. 4.39.- Gráfico de la interacción marco de plantación x variedad para la variable rendimiento (Kg/Ha) con el intervalo LSD.

4.5.- Subecosistema plagas y enfermedades.

Como la mayoría de cultivos, el de *J. curcas* no está libre de plagas y enfermedades (Fig. 4.40). Aunque en ningún momento peligró la subsistencia del cultivo y los daños fueron controlados, su incidencia puede repercutir en el rendimiento.

Entre las diferentes plagas que se observaron durante el ensayo y cuya presencia es generalizada para otros cultivos propios de la zona, destacan, por su frecuencia tanto en el periodo húmedo como seco, *Pachycoris torridus* (Scopoli) (Hemiptera : Scutelleridae) y *Naupactus sp.* (Dejean) (Coleoptera : Curculionidae). La primera, conocida localmente como “chinche”, succiona los tallos y el contenido de los frutos en desarrollo (INIA, 2009). Inicialmente, los huevos tienen un color crema, que posteriormente cambia a rojo. Las ninfas tienen un color metálico. Es frecuente encontrarla en el envés del limbo o por el peciolo.

Naupactus sp. fue la primera plaga incidente. A los 2 días del trasplante ya se observaron los ataques de este fitófago. Se descartó que viniera procedente de vivero dado que no afectó a otros grupos de plantas procedentes del mismo. Generalmente, se dispone entre las flores que componen la cima, o las partes apicales en que casi concurren varios peciolos ante la proximidad de las yemas.

Los daños más difíciles de controlar fueron causados por ácaros. El de mayor incidencia fue ocasionado por *Polyphagotarsonemus latus* (Banks) (Acari : Tarsonemidae), que perforan las células para alimentarse de la savia que se desprende (Jayma *et al.*, 1993; referenciando a Waterhouse y Norris, 1987), lo que otorga un aspecto arrugado a las hojas, que adoptan un color pardo entre la nerviación, que se hace fuertemente visible. Los brotes más jóvenes se endurecen, volviéndose ligeramente coriáceos. Estos daños provocan una disminución de la actividad fotosintética (Jayma *et al.*, 1993) y una parada temporal del crecimiento, que se reinicia con el aporte de agua (van Peer, 2010). Dado que los daños resultaron mucho más agresivos durante el periodo húmedo (pues la temperatura y humedad altas favorecen su ciclo de desarrollo, que es de apenas 5 días [INIA, 2009]), no se observaron fuertes paradas vegetativas. Su presencia en la plantación puede verse facilitada por la abundante arvense *Bidens cynapiifolia* Kunth., debido a que el ácaro puede hospedarse en las especies de este género (Jayma *et al.*, 1993).

4.- Resultados

En contraposición con estas condiciones agroecológicas, la presencia y ataque de *Tetranychus sp.* (Acari : Tetranychidae), se ve favorecida por condiciones de sequía. A diferencia del caso anterior, sus daños fueron más localizados, extendiéndose y ampliando su radio de forma progresiva. Succiona la savia de las plantas (INIA, 2009), provocando un aspecto amarillento y posterior defoliación severa sobre los nuevos brotes y hojas más jóvenes, localizados en la parte apical.

La última plaga incidente sobre el cultivo es *Selenothrips rubrocinctus* (Giard) (Thysanoptera : Thripidae), que además se mostró muy resistente y de rápida propagación, tanto en periodos húmedos como secos.



Fig. 4.40.- Plagas y enfermedades incidentes durante el ensayo. a) *Pachycoris torridus* (Scopoli). b) *Naupactus sp.* c) Daños provocados por *Polyphagotarsonemus latus* (Banks). d) Inicio de defoliación severa por roya.

En cuanto a las enfermedades causadas por hongos sobre las hojas (todas ellas durante el periodo húmedo), los mayores daños fueron

ocasionados por una roya, cuyos síntomas se manifiestan por una clorosis, necrosis y defoliación severa. Estos síntomas ya han sido anteriormente reportados en Brasil (Carneiro *et al.*, 2009), México (Kenis, 2013) y Paraguay (Garcete *et al.*, 2009), y están causados por *Phakopsora jatrophicola* (Arthur) Cummins, recientemente reclasificada como *Phakopsora arthuriana* Buriticá & Hennen (Reis y Liparini, 2012).

Xanthomonas sp. también provocó daños. Los primeros síntomas se caracterizan por manchas pardas o amarillentas, que se tornan de color marrón oscuro necrótico, rodeadas por un halo amarillo, que finaliza con la caída prematura de la hoja, síntomas ya descritos anteriormente en Nicaragua (Padilla y Monterroso, 1999). Por otra parte, también se observaron síntomas propios de *Cercospora sp.*, con puntos necróticos irregulares de color marrón oscuro, bien delimitados (Reis y Liparini, 2012; referenciando a Dianese *et al.*, 2010), asociados a *Cercospora jatrophicola* (Speg.) Chupp y *Cercospora jatrophygena* U. Braun (Reis y Liparini, 2012).

La enfermedad menos extendida fue la antracnosis causada por *Colletotrichum sp.*, con lesiones necróticas muy oscuras, irregulares, que suelen comenzar por los bordes con un tamaño pequeño, y posteriormente se unen formando áreas necróticas. Esta enfermedad ya fue reportada en Brasil y USA en la década de los 60 (Reis y Liparini, 2012), y más recientemente en Nicaragua (Padilla y Monterroso, 1999) y Paraguay (Garcete *et al.*, 2009).

En cualquier caso la incidencia de plagas y parásitos fue de distribución generalizada, y no influyó como factor de desarrollo.

4.6.- Aspectos medioambientales. Tasa de fijación de carbono.

No se observaron diferencias estadísticamente significativas entre el porcentaje en peso de carbono de las variedades, entorno al 42% (Tabla 4.25), por lo que no parece que dicho contenido varíe en función de la variedad, edad, o labores agrícolas del cultivo.

4.- Resultados

Tabla 4.25.- Porcentaje de carbono y nitrógeno ($\bar{x} \pm \text{St.E.}$) para las variedades autóctona dominicana y Cabo Verde (ambas n=18) del cultivo experimental y planta naturalizada (n=9).

Variedad	% C	% N
Dominicana (V1)	42,69 \pm 0,17 ^a	2,01 \pm 0,26 ^a
Cabo Verde (V2)	42,44 \pm 0,32 ^a	1,97 \pm 0,25 ^a
Naturalizada	42,80 \pm 0,35 ^a	2,11 \pm 0,34 ^a
Promedio (n=45)	42,61 \pm 0,16	2,01 \pm 0,16

\bar{x} = Promedio. St.E. = Error estándar.

El porcentaje de carbono en hojas, tallos y raíces, tampoco fue lo suficientemente distinto como para lograr una incidencia significativa de la variable (valor-P = 0,07 > 0,05), aunque si se obtuvieron grupos homogéneos distintos (Tabla 4.26).

La interacción entre las variables ‘variedad’ y ‘órgano de la planta’ tuvo una incidencia significativa (Tabla 4.27; Fig. 4.41.). Sin embargo, dadas las mínimas diferencias entre las muestras, en la práctica puede adoptarse que el porcentaje de carbono gira alrededor del valor citado al inicio.

Para el nitrógeno, de nuevo la variedad no influyó de forma estadísticamente significativa en su porcentaje en peso, obteniendo un valor promedio del 2%. Si que se observaron diferencias estadísticamente significativas entre hojas, tallos y raíces (valor-P = 0,00 < 0,05), obteniéndose los valores más elevados en el primer caso (Fig. 4.42). La interacción entre variedad y parte de la planta no resultó estadísticamente significativa.

Tabla 4.26.- Porcentaje de carbono y nitrógeno ($\bar{x} \pm \text{St.E.}$) en hojas, tallos y raíces (n=15).

Órgano de la planta	% C	% N
Hojas	42,11 \pm 0,29 ^a	3,37 \pm 0,12 ^a
Tallos	42,77 \pm 0,21 ^{ab}	1,47 \pm 0,11 ^b
Raíces	42,96 \pm 0,29 ^b	1,20 \pm 0,11 ^b
Promedio (n=45)	42,61 \pm 0,16	2,01 \pm 0,16

Superíndices a y b muestran grupos homogéneos con diferencias estadísticamente significativas (P<0,05).

\bar{x} = Promedio. St.E. = Error estándar.

Tabla 4.27.- Porcentaje de carbono ($\bar{X} \pm \text{St.E.}$) obtenido para la interacción variedad x órgano de la planta.

Interacción	% C
Hojas x V2	41,23 \pm 0,24 ^a
Raíces x S	41,60 \pm 0,14 ^{ab}
Hojas x V1	42,03 \pm 0,13 ^{abc}
Tallos x V2	42,34 \pm 0,35 ^{bc}
Tallos x S	42,79 \pm 0,20 ^{cde}
Raíces x V1	42,84 \pm 0,20 ^{cd}
Tallos x V1	43,21 \pm 0,31 ^{def}
Raíces x V2	43,76 \pm 0,47 ^{ef}
Hojas x S	44,01 \pm 0,14 ^f

(S=planta naturalizada; V1=variedad autóctona dominicana; V2=variedad Cabo Verde).
 Superíndices a y b muestran grupos homogéneos con diferencias estadísticamente significativas (P<0,05).
 \bar{X} = Promedio. St.E. = Error estándar.

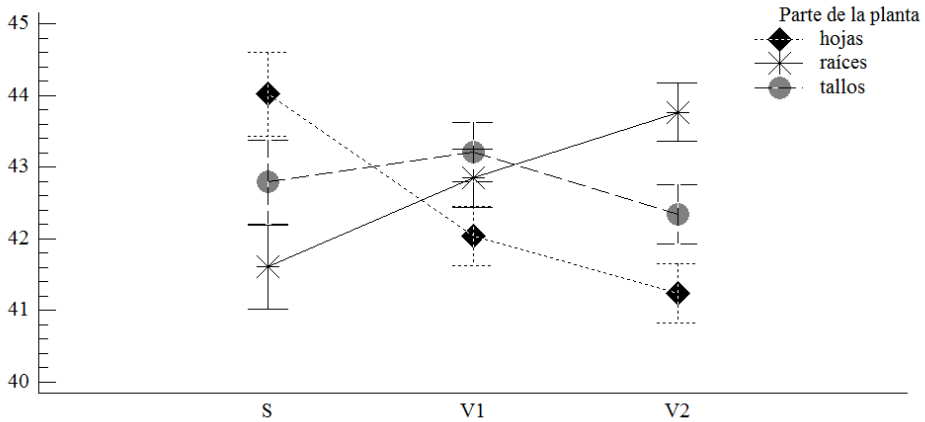


Fig. 4.41.- Porcentaje de carbono obtenido para la interacción variedad x órgano de la planta. (S=planta naturalizada; V1=variedad autóctona dominicana; V2=variedad Cabo Verde).

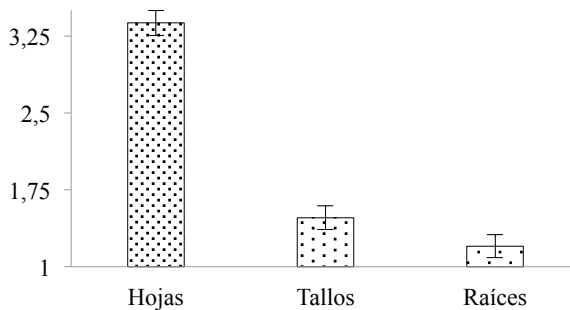


Fig. 4.42.- Porcentaje en peso de nitrógeno (media y error estándar) en los distintas órganos de la planta.

4.- Resultados

Del estudio de la matriz de Pearson se observó que, para un coeficiente de correlación considerado de 0,8, no existen correlaciones estadísticamente significativas en el porcentaje de carbono acumulado. Para el nitrógeno, en cambio se detectó una alta correlación entre hojas y tallos, con un valor de 0,95 (valor-P = 0,00 < 0,05), así como para hojas y raíces, y tallos y raíces, ambas correlaciones con un valor de 0,97 (valor-P = 0,00 < 0,05). Cabe destacar también la correlación del porcentaje de carbono y nitrógeno en los tallos, con un valor de 0,81 (valor-P = 0,00 < 0,05). No se observaron fuertes correlaciones entre variedades. En cuanto a las especies dominantes de la zona, las estimaciones del contenido de ambos elementos se mostraron similares para el caso del nitrógeno, y ligeramente superiores para el carbono (Tabla 4.28), respecto a los valores expuestos anteriormente para *J. curcas*.

Tabla 4.28.- Porcentajes de carbono y nitrógeno en las especies *A. macracantha* y *P. juliflora*.

Muestra	C%	N%
<i>A. macracantha</i> _Hojas	46,75	2,57
<i>A. macracantha</i> _Tallos	45,76	1,45
<i>A. macracantha</i> _Raíces	44,30	1,51
<i>A. macracantha</i> _Promedio	45,60 ± 0,71	1,84 ± 0,36
<i>P. juliflora</i> _Hojas	45,08	3,48
<i>P. juliflora</i> _Tallos	45,56	1,51
<i>P. juliflora</i> _Raíces	46,29	1,71
<i>P. juliflora</i> _Promedio	45,63 ± 0,35	2,23 ± 0,62

Conocido el porcentaje en peso de estos elementos, y con el fin de realizar una valoración comparativa de fijación de CO₂ por hectárea, se determinó el peso de las especies consideradas.

En el caso de *J. curcas*, para las plantas de año y medio de edad muestreadas dentro de la plantación, se registró un peso seco inferior a 2 Kg/planta (Tabla 4.29), de los cuales un 12,5% corresponde a las hojas, 62,5% a tallos, y 25% a las raíces. Su altura y profundidad del sistema radicular oscilaba alrededor de 170 y 50 cm, respectivamente, si bien para el segundo caso de la raíz principal pivotante emergían raíces de hasta 1 m de longitud.

Tabla 4.29.- Valores de biomasa (g) de plantas muestreadas al año y medio de edad en la plantación experimental (n=4).

	$\bar{X} \pm \text{St.E.}$
Hojas	230,2 \pm 46,9
Tallos	1153,5 \pm 62,5
Raíces	462 \pm 70,2
Total	1845,7 \pm 121,8

\bar{X} = Promedio. St.E. = Error estándar.

Por lo tanto, una planta de *J. curcas* de las características descritas fija una cantidad de carbono de:

$$1,85 \text{ Kg} \times 0,43 = 0,79 \text{ Kg C/planta} = 2,88 \text{ Kg CO}_2/\text{planta}$$

Considerando marcos de plantación de 2,5x3 m, y 3x3 m, se obtiene:

- 2,5x3 m \rightarrow 2,88 Kg CO₂/planta x 1333 plantas/Ha = 3,85 Tm CO₂/Ha
- 3x3 m \rightarrow 2,88 Kg CO₂/planta x 1111 plantas/Ha = 3,20 Tm CO₂/Ha

Para *P. juliflora* se obtuvo un peso de 22,74 \pm 8,41 Kg (n=5), y por tanto un secuestro de carbono de:

$$22,74 \text{ Kg} \times 0,46 = 10,46 \text{ Kg C/planta} = 38,70 \text{ Kg CO}_2/\text{planta}$$

Considerando, a partir de los inventarios realizados, una densidad de 160 plantas/Ha, se obtiene:

$$38,70 \text{ Kg CO}_2/\text{planta} \times 160 \text{ plantas/Ha} = 6,19 \text{ Tm CO}_2/\text{Ha}$$

La capacidad de fijación de carbono por hectárea de árboles adultos de *P. juliflora* es superior a la fijada por *J. curcas* al año y medio de edad. Dada esta desigual condición de tiempo, y teniendo en cuenta los valores obtenidos para cada caso, resulta factible que cuando *J. curcas* incremente su biomasa con los años, ambas cifras puedan mostrarse similares.

4.- Resultados

4.7.- Contenido en aceite y determinación de parámetros.

4.7.1.- Rendimiento en aceite.

El porcentaje de aceite extraído varía en función del método de extracción y del tiempo al que esté sometida la muestra. Es por esto que antes de llevar a cabo la extracción del aceite de las muestras, se realizaron algunas pruebas previas, a fin de calcular una curva de extracción en el tiempo (Fig. 4.43) y elegir un programa adecuado de los preestablecidos.

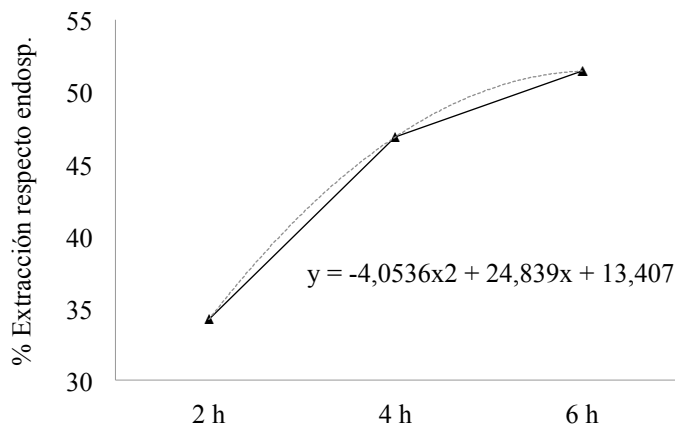


Fig. 4.43.- Curva de extracción de aceite con equipo Fox Soxtec™ 2055.

El rendimiento medio de aceite extraído respecto del endospermo y embrión fue del $47,45 \pm 1,30\%$ ($n=30$) (que supone el 31% respecto del peso de semilla). Del ANOVA realizado no se observaron diferencias estadísticamente significativas para la variedad, rendimiento en cuadro, mes y año de cosecha.

4.7.2.- Densidad.

No se observaron diferencias estadísticamente significativas, con un valor promedio de $0,908 \pm 0,001 \text{ g/cm}^3$ ($n=30$).

4.7.3.- Análisis elemental. Determinación de CHNS.

No se observaron diferencias estadísticamente significativas para los elementos determinados, registrando valores promedios de $77,9 \pm 0,6\%$ para carbono, $12,0 \pm 0,1\%$ para hidrógeno, y $0,0 \pm 0,0\%$ para nitrógeno y azufre (n=30).

El porcentaje de carbono del aceite se mostró muy superior al registrado en el resto de la planta, lo que podría deberse, entre otros, a la capacidad sumidero del fruto para dicho elemento. Todo lo contrario ocurre con el nitrógeno, más demandado por la planta para su desarrollo.

4.7.4.- Poder calorífico.

No se observaron diferencias estadísticamente significativas para este parámetro. Para el poder calorífico superior se obtuvo un valor medio de 39450 ± 128 J/g, mientras que para el inferior fue de 36816 ± 128 J/g (n=30).

4.7.5.- Contenido en volátiles, carbono fijo y cenizas.

No se observaron diferencias estadísticamente significativas para los parámetros determinados. Prácticamente toda la muestra se volatilizó (Fig. 4.44; Tabla 4.30).

Tabla 4.30.- Resultados de los parámetros determinados en el análisis inmediato (n=30).

Variable	$\bar{x} \pm \text{St.E.}$
% Humedad (N ₂ , 25 °C - 140 °C)	$0,07 \pm 0,02$
% Volátiles (N ₂ , 140 °C - 675 °C)	$99,67 \pm 0,02$
% C fijo (N ₂ :O ₂ , 675 °C - 950 °C)	$0,17 \pm 0,03$
% Cenizas (1000 °C)	$0,11 \pm 0,02$

\bar{x} = Promedio. St.E. = Error estándar

4.- Resultados

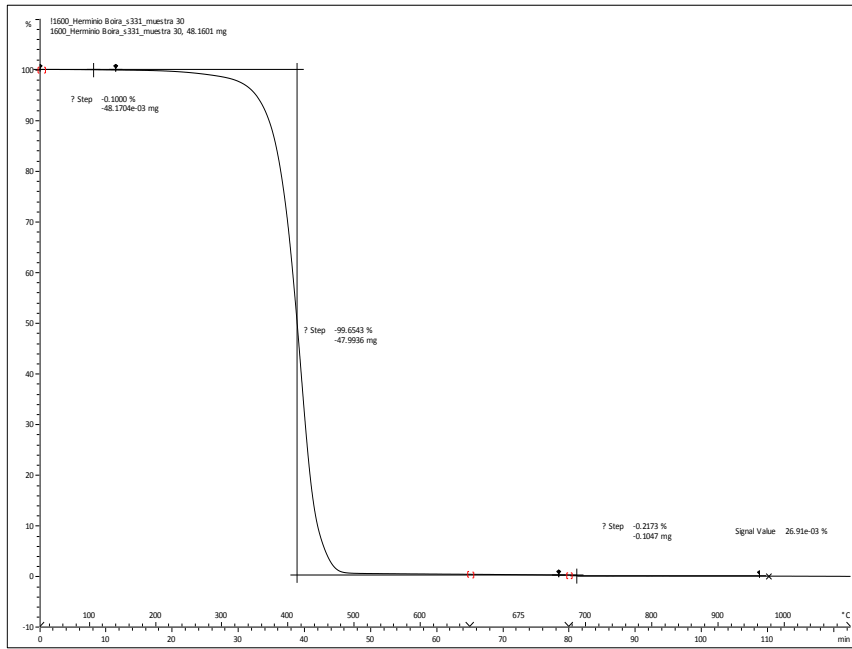


Fig. 4.44.- Ejemplo del gráfico obtenido para cada muestra en el análisis inmediato.

5.- DISCUSIÓN.

5.- DISCUSIÓN.

Los mayores rendimientos responden a una mayor densidad de plantas por superficie, mayor tasa de abonado, aporcado de surcos y una elevada frecuencia de escarda. Destaca también la variedad, que para cultivares seleccionados muestra también mayores rendimientos.

De entre los factores aleatorios, como es el caso de la incidencia de las precipitaciones, cabe destacar que la distribución de las mismas durante el primer año de ensayo permitió obtener una primera cosecha a los 7 meses de edad de la plantación, tal y como se ha reportado en otras experiencias llevadas a cabo en Brasil, donde se obtuvo un valor de 0,09 Kg/planta (Mattana Saturnino *et al.*, 2005). Ello contrasta con trabajos realizados en la India en que, tanto para plantaciones cultivadas en secano (Prajapati y Prajapati, 2005, citado en Eckart y Hensaw, 2012) como en regadío (Pandey *et al.*, 2011), no se obtuvieron rendimientos hasta el segundo año (Tabla 5.1).

En otras parcelas de ensayo localizadas en áreas de clima tropical húmedo de República Dominicana (Monte Plata), se registraron cosechas de 200-250 Kg/Ha a los 8 meses de edad, lo que es una muestra del potencial que puede ofrecer el cultivo cuando no sufre estrés hídrico; En zonas mas áridas como Dajabón y Tamayo, se registraron cifras de 100 g/planta a partir del segundo año, inferiores a las obtenidas en el ensayo.

Tabla 5.1.- Rendimientos (Kg/Ha) de semilla en función de la edad de la plantación.

Año	Exp. El Cigual			Paraguay *	Sudáfrica **	India (riego) ***	India ****		Malasia *****
	V1	V2	Máx				secano	riego	
1	7,5	24,2	72,4	n.d.	n.d.	0	0	250	500
2	86	215,5	687,5	n.d.	89,9	750	125	1000	1500
3				100	104,4	3125	250	2470	3000
4				700	348,8	7500	620	4940	5000
5				1000	n.d.	11250	1235	7910	6500

NOTA: Para los datos obtenidos en la parcela experimental, se exponen los rendimientos medios para cada variedad, así como el máximo obtenido para un determinado tratamiento. Fuentes: * Matsuno *et al.*, 1985; ** Everson *et al.*, 2013; *** Pandey *et al.*, 2011; **** Prajapati y Prajapati, 2005; ***** Lim y Teong, 2010.

5.- Discusión

El rendimiento alcanzado en la parcela experimental es similar a los reportados en otras zonas semiáridas de la India, donde se registraron 670 Kg/Ha en áreas de secano (Estrin, 2009), así como en explotaciones con riego y una densidad de plantación de 2500 plantas/Ha, en que se obtuvieron 0,3 Kg/planta para el segundo año, 1,25 Kg/planta para el tercero, y 3 y 4,5 Kg/planta para el cuarto y quinto año, suponiendo para este último, un rendimiento de 11250 Kg/Ha. Para este último caso, a pesar de que el valor indicado en el segundo año es inferior al obtenido en la parcela experimental, las elevadas cifras expuestas para los años posteriores parecen difíciles de alcanzar con las condiciones agroecológicas de El Cigual.

En trabajos llevados a cabo en San Martín (Perú), que cuenta con una mayor tasa de precipitaciones, se registraron rendimientos de 3,12 Kg/planta para el tercer año (Veen, 2011). El hecho de que en ese mismo estudio se obtuvieran 100 Kg/Ha durante el segundo año (inferior al alcanzado en la parcela experimental), puede sugerir de que el rendimiento potencial del cultivo en zonas semiáridas como El Cigual todavía puede aumentar considerablemente a medida que crece la plantación.

A pesar de que los rendimientos obtenidos en la parcela experimental se muestran inferiores a los obtenidos en áreas de mayor disponibilidad hídrica, son superiores a los registrados en otras zonas como Ukulinga (Sudáfrica) (Everson *et al.*, 2013), con valores de temperatura (18,4 °C) y precipitación (680 mm) similares a los de El Cigual, en que se obtuvieron rendimientos de 89,9 Kg/Ha, 104,4 Kg/Ha y 348,8 Kg/Ha durante el segundo, tercer y cuarto año, respectivamente. Se registraron alturas del cultivo de 1 y 1,35 m al año y año y medio, también inferiores a las registradas en la parcela experimental.

En ocasiones resulta complicado establecer comparativas entre trabajos, debido a la dificultad de aportar la máxima información de las variables y factores que afectan al desarrollo del cultivo. La sensibilidad que ha mostrado el cultivo frente a las labores agrícolas ha quedado reflejada en los rendimientos obtenidos, lo que prueba la importancia del manejo agrario

y la calidad del material vegetal en su explotación. Estos resultados también se ven influenciados por otros factores no contemplados en el diseño experimental. La planta ha mostrado una gran susceptibilidad a pequeñas variaciones del medio en el que se encuentra. La aleatoriedad del clima es un aspecto de difícil inclusión en los modelos que se elaboran para su estudio, influyendo e incluso modificando las medias y desviaciones obtenidas para los distintos registros. Ello destaca la importancia de considerar las condiciones agroecológicas donde se implanta el cultivo.

La variedad ha resultado el factor experimental de mayor incidencia sobre la productividad. Este hecho pone de manifiesto la importancia de la mejora varietal si se quieren alcanzar altos rendimientos. La semilla de la variedad Cabo Verde empleada en el estudio, procedió de individuos que son el resultado de varias generaciones sujetas a programas de mejora, por lo que cuentan con un material vegetal de mayor calidad, mientras que las semillas empleadas de la variedad autóctona dominicana se obtuvieron a partir de individuos silvestres o naturalizados.

Las diferencias de desarrollo y productividad entre variedades ya se ha apuntado en otros trabajos (Heller, 1996), en que se registraron variaciones de altura, ramificación de la planta, rendimientos, etc. A pesar de que en la parcela experimental no se han observado diferencias en el aspecto fenológico de ambas variedades, de acuerdo con algunos autores (Francis *et al.*, 2005), la calidad del plantón se ha mostrado determinante en el rendimiento del cultivo. Dado el actual conocimiento sobre la especie, la mejora genética se prevé como una de las principales vías de investigación para lograr su domesticación y rentabilidad. A diferencia de otros muchos cultivos, todavía no existe material certificado para *J. curcas* (Jingura, 2011).

Para las dosis de abonado consideradas en el diseño experimental, no se han observado diferencias estadísticamente significativas sobre el rendimiento en semilla. Quizás este factor podría requerir de un mayor periodo de observación y aplicaciones para revelar con mayor claridad su incidencia sobre el cultivo. Algunos autores (Gmünder *et al.*, 2012) ya han

5.- Discusión

apuntado que la fertilización mineral sobre suelos relativamente fértiles no provoca un aumento significativo de la productividad.

La altura de surco y el marco de plantación han tenido una incidencia estadísticamente significativa sobre la producción de semilla. En el primer caso, los surcos de mayor altura permitieron obtener mayores rendimientos, lo que podría deberse a que su aporcado favorece la retención de la humedad, reduce las pérdidas por escorrentía, y consecuentemente, los daños por erosión.

En el segundo, el hecho de que el marco de plantación definido por 2,5x3 m haya resultado más productivo, puede deberse a que se cultivan un mayor número de plantas por área. Aunque para los próximos años esta distancia podría considerarse corta por el crecimiento del cultivo, el control del tamaño y biomasa de los individuos a través de la poda debe permitir mantener una estructura similar a la alcanzada al final del segundo año. A diferencia de la incidencia que ha mostrado este factor en la parcela experimental, en otros trabajos (Behera *et al.*, 2010) en los que se ha considerado distancias de 2x2 m y 3x3 m, se observaron rendimientos similares, al menos durante las primeras fases del cultivo. Estas comparativas sugieren que el estudio de la influencia del marco de plantación sobre el rendimiento en semilla podría requerir un mayor periodo de observación, al menos hasta que la planta alcance un estado adulto y se establezca su rendimiento, esto es, sobre el 4^o-5^o año.

De acuerdo con otros autores (Everson *et al.*, 2013), el cultivo se mostró muy sensible a la competencia con las plantas arvenses. De las labores agrícolas consideradas en el diseño, la escarda ha resultado la más incidente, de tal modo que las combinaciones más productivas incluyen una alta frecuencia de escarda. Dada esta sensibilidad, y en contraste con los criterios establecidos en otros estudios (Arif y Ahmed, 2009), durante las primeras fases del cultivo, y antes de iniciar el factor escarda, se eliminaron las plantas arvenses en todos los cuadros, hasta que el cultivo alcanzó un tamaño y vigor superior a estas. En el caso de las plantas silvestres, se

observó que a pesar de estar rodeadas densamente por arvenses y sufrir un notable retraso en su desarrollo, sobreviven (FACT, 2009).

El desarrollo y productividad de las plantas cultivadas en la parcela experimental fue muy superior al de los individuos naturalizados observados alrededor de la misma, que no recibieron ningún tipo de tratamiento. Aunque en algunos estudios se ha sugerido que el cultivo no requiere suelos arados (Mohibbe *et al.*, 2005), está claro que para lograr una alta productividad, la explotación de *J. curcas* necesita cuidados como cualquier otro cultivo (Achten *et al.*, 2009). En anteriores trabajos (Ravindranath *et al.*, 2011) ya se apuntó que tanto la variedad como las prácticas culturales son determinantes. Se debe diferenciar su gran capacidad de adaptación y supervivencia frente a condiciones adversas (bajo climas secos o suelos pobres), de la necesidad de manejar adecuadamente el cultivo para obtener elevados rendimientos. El cumplimiento de la primera no implica el alcance de la segunda (Brittaine y Lutaladio, 2010).

El trasplante mostró una viabilidad próxima al 100%, contrastando con otros ensayos bajo condiciones normales (80% en India, Ariza-Montobbio y Lele, 2010). Fue necesario realizar el entutorado de forma puntual.

Los registros fenológicos están influenciados, además de por todas las variables citadas que afectan al cultivo, por las labores de cosecha, poda y despunte. Los mayores incrementos de altura y rendimiento se produjeron durante el segundo ciclo, en algunos casos de hasta casi 20 cm al mes para el primer caso, que le valió al cultivo para alcanzar una altura media ligeramente superior a los 2 m. En trabajos realizados en la India (Srivastava *et al.*, 2011), bajo condiciones semiáridas (455 mm de precipitación, el 70% de las cuales acontece en 3 meses), con suelos arenosos y arcilloarenosos, y aportes hídricos mediante riego con periodicidad quincenal, se registraron alturas de hasta 2,54 m a los dos años y medio de edad, superiores a los máximos alcanzados en la parcela experimental durante los dos años del ensayo.

5.- Discusión

Durante los períodos más secos, se observó un amarilleamiento del tronco, lo que contrasta con los reportes en otras áreas de Sudáfrica (Everson *et al.*, 2013), en que se mantiene verde todo el año. La defoliación de las plantas ha resultado mucho más severa a medida que crecen y adquieren un mayor desarrollo vegetativo, que le confiere una mayor transpiración.

La floración fue inducida durante el periodo húmedo (Jingura, 2011). Tanto esta como el cuajado son continuos mientras las condiciones agroecológicas lo permiten (Brittaine y Lutaladio, 2010), lo que hace necesario realizar pases de recolección manual de forma periódica (Arif y Ahmed, 2009) ante el desarrollo asincrónico de los frutos. Ello supone uno de los aspectos más contradictorios en la rentabilidad del cultivo; Si bien es cierto que la cosecha supone un elevado coste de mano de obra, también lo es que con ello se asignan empleos a la población. Dado que la extracción manual de la semilla del fruto es también una tarea muy costosa, algunos autores (Everson *et al.*, 2013) sugieren que para la rentabilidad del cultivo debe hacerse de forma mecánica.

En la actualidad se están diseñando y poniendo en práctica en parcelas piloto cosechadoras que permitan una recolección y extracción mecánica. En algunos trabajos (FACT, 2009), se mencionan rendimientos superiores a 1 Ha/hora, lo que reemplazaría a unos 80 trabajadores (cantidad estimada necesaria para cosechar a ese ritmo). Por el coste de su adquisición, este tipo de maquinaria no sería accesible para el pequeño agricultor.

La homogeneidad del peso de semilla también se ha mostrado variable según las condiciones agroecológicas, registrando menores valores al final de las cosechas e inicio del periodo seco. Existen estudios detallados (Makkar *et al.*, 1998) acerca de la variabilidad del peso de la semilla según su variedad o accesión y las condiciones agroecológicas en las que fueron originadas. Los pesos registrados para frutos (\approx 415 frutos/Kg) y semillas están en concordancia con los indicados en otros trabajos, de 400-422

frutos/Kg (Singh *et al.*, 2006; Arif y Ahmed, 2009) para el primer caso, y 0,69 g de la variedad Cabo Verde para el segundo (Makkar *et al.*, 1997).

El rendimiento medio de aceite extraído respecto del endosperma y embrión fue del 47,5%, esto es, el 31% respecto del peso de la semilla, cifra que coincide con la reportada en muchos trabajos. Este porcentaje depende, en gran medida, de la técnica de extracción empleada (prensado, soxhlet, ultrasonidos, medio acuoso enzimático, etc.) pero también de la calidad de la semilla. Resulta de interés mencionar que en El Cigual también se realizaron extracciones de aceite por el método cultural propio de la zona, basado en tostado, trituration, y ebullición de las semillas. Los rendimientos obtenidos están muy por debajo de los logrados por el método químico adoptado en el laboratorio. Además, fue necesario repetir el proceso varias veces para obtener pequeñas cantidades. De acuerdo con otros autores (Patolia *et al.*, 2007), el contenido de aceite de la semilla no parece estar relacionado con el rendimiento en campo, lo que también se ha sugerido en otros trabajos (Yong *et al.*, 2010), en que se observó que un aumento de nitrógeno propició una mayor productividad de semilla, pero no afectó al contenido en aceite.

Para los parámetros del aceite determinados, no se han obtenido diferencias estadísticamente significativas. Los valores registrados se han mostrado similares a los expuestos por otros autores; La densidad entorno a 0,903 g/cm³ (Akbar *et al.*, 2009), y el poder calorífico a 37-40 KJ/g, similar al reportado en otros estudios [37 KJ/g (Jain y Sharma, 2010), 37,83 y 42,04 KJ/g (Koh y Ghazi, 2001), 39,76 KJ/g (Sudhakar *et al.*, 2012)]. El análisis elemental determinó un contenido del 80% de carbono, sin contenido en azufre, mientras que en otros trabajos (Arif y Ahmed, 2009) se registraron valores de 0,64% para el primer caso y 0,13-0,16% para el segundo. Por otra parte, se obtuvo un 0,07% de humedad, 0,17% de carbono fijo residual y 0,11% de cenizas, frente a 1,4%, 1% y 0,8% obtenidos en otras investigaciones (Tiwari *et al.*, 2007). Estas variaciones podrían sugerir influencias en la composición del aceite según la variedad, condiciones agroecológicas, manejo del cultivo que se ha llevado a cabo, y técnica de determinación, aunque no se haya observado para todos los parámetros.

5.- Discusión

Uno de los aspectos más controvertidos sobre *J. curcas* y otros cultivos con fines bioenergéticos, es el impacto medioambiental que puede causar su implantación. Desde los orígenes de la agricultura, el ser humano ha modificado o sustituido el equilibrio del ecosistema natural con su influencia antrópica sobre el mismo. El cultivo de estas especies no es una excepción, siendo necesaria una preparación y acondicionamiento del terreno y labores de mantenimiento si se quieren alcanzar altos rendimientos.

Este impacto varía considerablemente según la biomasa y el uso del suelo precedente al cultivo. Por tanto, la sostenibilidad de *J. curcas* también pasa por conocer la deuda de carbono que origina su implantación (en caso de que la cause). Existen algunas metodologías que permiten estimar el carbono fijado por la biomasa según la zona geográfica (Ruesch y Gibbs, 2008), cuyo valor oscila entorno a 40-60 Tm/Ha para nuestro caso. Recientemente, se han empleado otras para estimar la deuda de carbono generada por la implantación del cultivo de *J. curcas*, alrededor de 28 Tm/Ha para la zona de estudio, lo que requeriría rendimientos de 7 Tm semilla seca/Ha y año para ser compensada en 15 años, o 3,89 Tm semilla seca/Ha y año para un periodo de 30 años (Achten *et al.*, 2013). Experiencias llevadas a cabo en la India y similares a la nuestra, por localizarse en un clima semiárido y sustituir un bosque de *P. juliflora*, cifran estos plazos en 10-20 años (Bailis y McCarthy, 2011).

La capacidad de fijación de CO₂ en El Cigual para una plantación de año y medio de edad oscila entorno a las 4 Tm CO₂/Ha. Considerando la vida útil del cultivo, y la edad de las plantas de la parcela experimental, esta cifra no es constante ni definitiva, pues debe tenerse en cuenta que una plantación adulta adquiere una mayor biomasa a la considerada para el cálculo, y por lo tanto una mayor capacidad sumidero de carbono. En algunos trabajos en Guantánamo (Sotolongo *et al.*, 2007), se indica que en cultivos de 7 años de edad, la planta puede alcanzar un peso de hasta 200 Kg, esto es 50 Kg en materia seca (considerando que el peso seco es el 25% del registrado en fresco), valor mucho más elevado a los obtenidos, lo que

implica un gran incremento en la cantidad de carbono fijado, alrededor de 25 Kg de C/planta.

En la estimación del carbono secuestrado por el cultivo, deben considerarse también sus posibles aportes al suelo, ocasionados por las hojas que caen a lo largo del año, o la contribución del pericarpo y la torta de la semilla prensada. Para el primer caso, en trabajos realizados en Patancheru (Andra Pradesh, India), se registraron pesos secos de hojas caídas de 552,5 g/planta y 1451,1 g/planta para el primer y tercer año del cultivo, respectivamente (Wani *et al.*, 2006). Respecto al contenido de carbono en el exocarpo y mesocarpo, y en el episperma o cubierta seminal de la semilla, se ha reportado contenidos del 46% (Sharma *et al.*, 2009) y 50,3% (en base húmeda, Manurung *et al.*, 2009), respectivamente. No obstante, estos aportes son temporales, dado que el carbono contenido pasará, de acuerdo con su ciclo, a formar parte de la atmósfera, y será fijado posteriormente de nuevo por la planta. Es por ello que, la mayor fuente sumidero de carbono del cultivo tiene lugar en la producción primaria de la planta.

El porcentaje de carbono obtenido tanto para *J. curcas* como para las especies dominantes en el paisaje de El Cigual, se corresponde con los valores expuestos en otros trabajos referentes a la biomasa vegetal en general, que varía del 46-47% (Firdaus *et al.*, 2010; citado en Rasmussen, 2012) al 50% (MacDicken, 1997; IPCC, 2003; Montero *et al.*, 2005; Reinhardt *et al.*, 2008) del peso seco. No obstante, en comparación con *P. juliflora*, de crecimiento lento, *J. curcas* presenta, por su ciclo y desarrollo, una capacidad de renovación de energía más rápida, un uso más inmediato y mayores vías de utilización para sus productos y subproductos.

Para el cálculo de la biomasa, existen metodologías con el fin de elaborar modelos alométricos exclusivos para una especie, que permitan estimar su peso o volumen en función de algunas variables como la altura o el diámetro, entre otras. Estos modelos pueden variar según las condiciones agroecológicas y hábitat del lugar en que se lleven a cabo, como ya se ha expuesto en trabajos referidos a *P. juliflora* (Riegelhaupt *et al.*, 1986).

5.- Discusión

El contenido de nitrógeno registrado en las hojas se mostró superior al 1,83% obtenido en otros trabajos en plantas de 13 meses de edad (Chaudhary *et al.*, 2007), e inferior al 4,7% (Wan *et al.*, 2007) y 6,4% (Mattana Saturnino *et al.*, 2005) referenciados en otros estudios (Jongschaap *et al.*, 2007). En todos los casos, los valores han sido superiores a 1,14% y 0,86%, registrados en las hojas que caen al suelo en cultivos de 1 y 3 años de edad (Wani *et al.*, 2006). Los contenidos en los tallos y raíces, se han mostrado inferiores a 3,34% (Mattana Saturnino *et al.*, 2005; Douradao Pacheco *et al.*, 2007; citados en Jongschaap *et al.*, 2007) y 2,16% (Mattana Saturnino *et al.*, 2005; Douradao Pacheco *et al.*, 2007; Wan *et al.*, 2007, citados en Jongschaap *et al.*, 2007), reportados en otros trabajos. Todos estos porcentajes son superiores al 0,68% indicado para el exocarpo y mesocarpo (Sharma *et al.*, 2009). No se detectó nitrógeno en el análisis del aceite extraído de las semillas de *J. curcas*.

De acuerdo con varios autores (Kochhar *et al.*, 2008; Kumari *et al.*, 2010), el uso de IBA favoreció el enraizamiento de las estacas, en este caso, mediante una mayor longitud de raíces. Todas las muestras del ensayo enraizaron, con un posterior porcentaje de supervivencia del 100%. La matriz de Pearson indicó que existen correlaciones entre la longitud de la estaca y el número de raíces (Kumar *et al.*, 2011), asociando un mayor tamaño de estaca con un mejor enraizamiento (Heller, 1996).

En la biodiversidad de la vegetación arvense localizada en la parcela experimental, las comunidades estudiadas corresponden a la época de mayor estrés. Por las características climáticas de la zona, es en el periodo de precipitaciones cuando comienza a originarse un ambiente más propicio para la germinación de muchas arvenses, ampliándose el espectro florístico.

Junto a las especies que caracterizan cada una de las asociaciones establecidas, se muestran abundantes en toda la parcela *Eragrostis barrelieri* Dav. y *Malvastrum corchorifolium* (Desr.) Britton ex Small, caméfito perenne, de porte erguido o decumbente, que durante el periodo seco representa la planta con mayor biomasa. Ambas presentan altos valores para los índices de presencia-abundancia en casi todos los inventarios.

En los inventarios también se incluyen otras especies que no son consideradas propiamente arvenses, y que componen la vegetación potencial de la zona natural. La más abundante es *P. juliflora*, objeto de varios trabajos por su versatilidad, dados los múltiples usos que se le atribuyen; obtención de biocombustible, aprovechamiento maderero, medicinal, contra la desertificación, etc. (Tewari *et al.*, 2013). En algunos trabajos (Vyas y Singh, 2007; Abreu, 2008; Brittain y Litaladio, 2010), su potencial para el primer caso se ha comparado con el de algunos subproductos de *J. curcas*, destacando que tiene un poder calorífico similar al del pericarpio del fruto de esta última (entorno a las 4000 Kcal/Kg, inferiores al del aceite), aunque con una mayor densidad aparente.

Emparentada con el piñón, *J. gossypifolia* es otra especie abundante, de cuyas semillas se puede extraer aceite para la producción de biodiesel (de Oliveira *et al.*, 2009). Sus frutos y semillas son más pequeños que los de *J. curcas*, obteniéndose menor cantidad de aceite por semilla. Sin embargo, se ha mostrado una planta muy resistente a condiciones desfavorables, presente en escombreras y terrenos muy secos. En terrenos yermos se observó una gran capacidad de colonización. Su menor tamaño al de *J. curcas*, le permite desarrollarse en elevadas densidades de plantación. Además de esta, la flora de El Cigual comprende otras especies oleaginosas como *A. mexicana*, *D. Stramonium*, *M. azadirachta* o *R. communis*, también estudiadas por su potencial bioenergético (Banković - Ilić *et al.*, 2013).

La gran capacidad de propagación y desarrollo de *J. curcas* en condiciones adversas para otras especies, le ha valido para que algunos países como Australia, Hawai y Sudáfrica la consideren en sus programas de control como potencialmente invasora (Silitonga *et al.*, 2011). Brasil, El Salvador, Fiji, Honduras, India, Jamaica, Panamá y Puerto Rico, la clasifican como una “mala hierba” (Brittaine y Litaladio, 2010). En este sentido, cabe resaltar la importancia de cosechar los frutos que puedan caer al suelo, pues en condiciones favorables, las semillas podrían germinar, y originar una nueva planta que supondría una competencia por los recursos para el cultivo.

5.- Discusión

En la comunidad arvense muestreada, destacan 6 especies por su fisiología y rápida germinación. Anteriormente se han mencionado las abundantes *E. barrelieri* y *M. corchorifolium*, que pueden encontrar en su ruta biosintética (C₄) para el primer caso, y biotipo para el segundo, unas condiciones determinantes para afrontar el periodo más adverso.

De entre todas las asociaciones consideradas, la que mayor dificultad erradica es la Ass. *Amaranthus-Portulaca*, por la presencia, sobretodo, de la primera. Por sus características fisiológicas y biológicas (ambas con fisiología C₄, rápida capacidad de propagación y establecimiento, y alta longevidad de semilla), son dos especies muy perseverantes y competitivas.

Boerhavia erecta, también anual con fisiología C₄, pone de manifiesto que esta característica supone, para estas condiciones, un aspecto determinante en la supervivencia y competencia con otras especies. Se asocia con *Bidens cynapiifolia*, la compuesta más abundante de la zona muestreada.

Los factores adoptados en el diseño no se han mostrado estadísticamente significativos sobre la composición y distribución de la comunidad arvense. Entre los diferentes motivos que se pueden asociar a este hecho, probablemente la variabilidad y su correspondencia con los factores estudiados no alcance un nivel del 50%. Ello puede ser debido a la dependencia de otros factores no considerados, como el historial reciente y antecedentes agropecuarios, impacto humano, etc. Otro factor condicionante es la pendiente del terreno (variable como se comentó en el apartado de material y métodos), siendo mayor a cotas más altas y menor a cotas más bajas y cercanas al poblado, en las que se acumula mayor cantidad del agua procedente de las precipitaciones. También podría deberse a que se requerirían un mayor número de escardas (u otras prácticas como la aplicación de fertilizantes) para valorar este aspecto. En otros trabajos (Mponela *et al.*, 2010), la diversidad de la flora arvense si se ha visto afectada por las labores agrícolas sobre el cultivo, lo cual resulta lógico, dada la alteración causada sobre el ecosistema.

A pesar de que los factores adoptados en el diseño no hayan tenido una incidencia significativa en la distribución de las arvenses, se aprecian una serie de tendencias en cada uno de ellos, y que podrían sugerir algunas preferencias de estas comunidades, que sería interesante estudiar con una mayor recolección de datos.

Para el factor abonado, se sugiere una tendencia de las Ass. *Bidens-Jatropha* y Ass. *Amaranthus-Momordica* a preferir suelos con mayores dosis, mientras que las Ass. *Amaranthus-Portulaca* tienden a aparecer a dosis más bajas. Sin embargo, la presencia y abundancia del *Amaranthus viridis* L. en las Ass. *Amaranthus-Portulaca* y Ass. *Amaranthus-Momordica*, así como *Bidens cynapiifolia* Kunth. en las Ass. *Bidens-Jatropha* y Ass. *Bidens-Boerhavia*, permiten atribuir que esta tendencia es más propiamente debida a las especies a ellas asociadas.

En cuanto a la escarda, no se estiman tendencias en las Ass. *Bidens-Boerhavia*, Ass. *Amaranthus-Portulaca* y Ass. *Amaranthus-Momordica*. No obstante, podría sugerirse que la Ass. *Bidens-Jatropha* es más propicia a aparecer a baja frecuencia, posiblemente debido al peso de *Jatropha gossypifolia* L. en el grupo, ya que al no ser propiamente una arvense anual, no germina y emerge con la rapidez que estas lo hacen, estando más presente en los suelos en los que se ha realizado un menor número de escardas.

Las Ass. *Bidens-Jatropha*, Ass. *Bidens-Boerhavia* y Ass. *Amaranthus-Momordica* tienden a preferir marcos de plantación de mayor cobertura del cultivo, mientras que la Ass. *Amaranthus-Portulaca* (ambas especies características del grupo con ruta metabólica C₄) tiende ligeramente a preferir menores coberturas. Por último, no hay una clara división en el factor ligado a la formación de surcos.

6.- CONCLUSIONES.

6.- CONCLUSIONES.

- El porcentaje de germinación de las semillas es de alrededor del 90%, mientras que el de enraizamiento de las estacas del 100%, mostrando un mayor desarrollo radicular con la aplicación de las mayores dosis ensayadas de auxinas (5 mg/L).
- Bajo clima seco, la plantación es viable. El cultivo muestra sensibilidad a periodos de sequía con defoliaciones, así como rápidas brotaciones con mínimos aportes hídricos.
- El rendimiento en peso de semilla responde a los factores adoptados en el diseño experimental.
- De entre los factores ensayados, la variedad y la escarda han sido los dos factores de mayor incidencia sobre el rendimiento.
- Los rendimientos más elevados se alcanzaron para la variedad Cabo Verde y bajo menor marco de plantación (2,5x3m), mayor altura de surcos (30 cm) y dosis de abonado (150 Kg/Ha), y elevada frecuencia de escardas.
- La capacidad de fijación de CO₂ del cultivo durante el ensayo alcanza aproximadamente las 4 Tm CO₂/Ha, cifra que aumenta con el incremento de la productividad primaria de la planta en los años siguientes.
- El contenido en aceite de la semilla y los parámetros físico-químicos determinados no responden a la variedad, periodo de recolección y rendimiento en campo.
- En el subecosistema arvense se establecen 4 asociaciones distintas a partir del levantamiento de inventarios, según las afinidades ecológicas de las especies que las componen. Están presentes etapas seriales de la vegetación potencial, destacando *A. macracantha*, *P. juliflora* y *S. atomaria*.

7.- BIBLIOGRAFÍA.

7.- BIBLIOGRAFÍA.

Abou Kheira A., Atta N., 2009. Response of *Jatropha curcas* L. to water deficits: Yield, water use efficiency and oilseed characteristics. *Biomass and Bioenergy* 33: 1343–1350.

Abreu F., 2008. Alternative by-products from *Jatropha*. International consultation on pro-poor *Jatropha* development (Roma, 10–11 Abril), International Fund for Agricultural Development (IFAD).

Achten W.M.J., Almeida J., Fobelets V., Bolle E., Mathijs E., Singh V.P., Tewari D.N., Verchot L.V., Muys B., 2010. Life cycle assessment of *Jatropha* biodiesel as transportation fuel in rural India. *Applied Energy* 87: 3652–3660.

Achten W.M.J., Maes W.H., Aerts R., Verchot L.V., Trabucco A., Mathijs E., 2009. *Jatropha*: from global hype to local opportunity. *Journal of Arid Environments* 74(1): 164–165.

Achten W.M.J., Maes W.H., Reubens B., Mathijs E., Singh V.P., Verchot L.V., 2010. Biomass production and allocation in *Jatropha curcas* L. seedlings under different levels of drought stress. *Biomass and Bioenergy* 34(5): 667-676.

Achten W.M.J., Mathijs E., Verchot L.V., Singh V.P., Aerts R., Muys B., 2007. *Jatropha* biodiesel fueling sustainability? *Biofuels, Bioproducts and Biorefining* 4(1): 283–291.

Achten W.M.J., Trabucco A., Maes W.H., Verchot L.V., Aerts R., Mathijs E., Vantomme P., Singh V.P., Muys B., 2013. Global greenhouse gas implications of land conversion to biofuel crop cultivation in arid and semi-arid lands; Lessons learned from *Jatropha*. *Journal of Arid Environments* 98: 135-145.

Achten W.M.J., Verchot L.V., 2011. Implications of biodiesel-induced land-use changes for CO₂ emissions: Case studies in Tropical America, Africa, and Southeast Asia. *Ecology and Society* 16(4): 14.

7.- Bibliografía

Achten W.M.J., Verchot L.V., Franken Y.J., Mathijs E., Singh V.P., Aerts R., 2008. *Jatropha* biodiesel production and use. *Biomass and Bioenergy* 32(12): 1063-1084.

Agoramoorthy G., Patel P., 2012. India's biofuel development: Swings and roundabouts. *Environmental Science & Technology* 46: 589-590.

Akbar E., Yaakob Z., Kamarudin S., Ismail M., Salimon J., 2009. Characteristic and composition of *Jatropha curcas* oil seed from Malaysia and its potential as biodiesel feedstock. *European Journal of Scientific Research* 29(3): 396-403.

Allen G., Pereira L., Raes D., Smith M., 2006. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Riego y Drenaje n° 56, Food and Agriculture Organization (FAO), Roma, Italia.

Andersson C.E.F., Everson T.M., Everson C.S., 2013. Management of oil producing *Jatropha curcas* (Euphorbiaceae) silvopastoral systems: risk of herbivory by indigenous goats and competition with planted pastures, *Biomass and Bioenergy* 59: 50-58.

Anitha K., Varaprasad K.S., 2012. *Jatropha* pests and diseases: An overview. *Jatropha*, challenges for a new energy crop, vol. 1: Farming, economics and biofuel, Springer, New York, Estados Unidos.

AOAC (Association Of Analytical Communities), 2000. Official methods of analysis of AOAC International (Ed. Horwitz W.). Gaithersburg & AOAC International.

Arif M., Ahmed Z., 2009. Biodiesel. *Jatropha curcas* L. (a promising source). Satish serial publishing house, Delhi, India.

Ariza-Montobbio P., Lele S., 2010. *Jatropha* plantations for biodiesel in Tamil Nadu, India: Viability, livelihood trade-offs, and latent conflict, *Ecological Economics* 70: 189–195.

Atadashi I.M., Aroua M.K., Abdul Aziz A., 2010. High quality biodiesel and its diesel engine application: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14(7): 1999–2008.

- Augustus G., Jayubalan M., Seiler G.J., 2002. Evaluation and bioinduction of energy components of *Jatropha curcas* L. *Biomass and Bioenergy* 23(3): 161-164.
- Bailis R., McCarthy H., 2011. Carbon impacts of direct land use change in semiarid woodlands converted to biofuel plantations in India and Brazil, *Global Change Biology Bioenergy* 3: 449–460.
- Balat M., 2011. Potential alternatives to edible oils for biodiesel production; a review of current work. *Energy Conversion and Management* 52(2): 1479–1492.
- Balat M., Balat H., 2008. A critical review of biodiesel as a vehicular fuel. *Energy Conversion and Management* 49: 2727-2741.
- Banković-Ilić I.B., Stamenković O.S., Veljković V.B., 2012. Biodiesel production from non-edible plant oils. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16: 3621–3647.
- Baroi C., Yanful E.K., Rahman M.F., Bergougnou M.A., 2010. Environment friendly biodiesel from *Jatropha curcas*: possibilities and challenges. *Earth and Environmental Science* 2010-2011 (2): 75–81.
- Basili M., Fontini F., 2012. Biofuel from *Jatropha curcas*: Environmental sustainability and option value. *Ecological Economics* 78: 1–8.
- Bates J., Howes P., Dent C., Brown A., Rapson D., 2008. Review of indirect effects of biofuels. The Renewable Fuels Agency.
- Becker K., 2009. Biofuels from *Jatropha curcas* oil - Perspectives for tropical regions. *Oléagineux, Corps Gras, Lipides* 16: 4.
- Becker K., Makkar H.P.S., 1999. *Jatropha* and *Moringa*: sources of renewable energy for fuel, edible oil, animal feed and pharmaceutical products - ideal trees for increasing cash income. Magdeburg: Daimler Chrysler, The World Bank Environment Forum.
- Behera S.K., Srivastava P., Tripathi R., Singh J.P., Singh N., 2010. Evaluation of plant performance of *Jatropha curcas* L. under different

7.- Bibliografía

agropractices for optimizing biomass; A case study. *Biomass and Bioenergy* 34: 30–41.

Black C.A., 1968. *Soil-plant relationships*. Ed. John Wiley & Sons, New York, Estados Unidos.

Black C.C., 1986. Effects of CO₂ concentration on photosynthesis and respiration of C₄ and CAM plants. Enoch HZ and Kimball BA (eds) *Physiology, Yield and Economics*, 29–40.

Bouffaron P., Castagno F., Herold S., 2012. Straight vegetable oil from *Jatropha curcas* L. for rural electrification in Mali; A techno-economic assessment. *Biomass and Bioenergy* 37: 298-308.

Braun-Blanquet J., 1979. *Fitosociología. Bases para el estudio de las comunidades vegetales*. Ed. Blume, Madrid, España.

Brittaine R., Lutaladio N., 2010. *Jatropha: A smallholder bioenergy crop. The potential for pro-poor development*. Integrated Crop Management 8, International Fund for Agricultural Development (IFAD), Food and Agriculture Organization (FAO), Roma, Italia.

Cámara R., 2004. Escalonamiento bioclimático, regímenes ecodinámicos y formaciones vegetales de la Isla de la Española. *Estudios en Biogeografía* 39-58. Servei de Publicacions de la Universitat de Girona, Terrassa, España.

Cámara R., Martínez J.R., Díaz del Olmo F., 2005. *Desarrollo sostenible y medio ambiente en República Dominicana: Medios naturales, manejo histórico, conservación y protección*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Escuela de Estudios Hispano-Americanos, Universidad de Sevilla, Madrid, España.

Camps M., Marcos F., 2008. *Los biocombustibles*. Mundi-Prensa, Madrid, España.

Capel Molina J.J., 1982. La aridez de la Península Ibérica. Algunos índices bioclimáticos. Homenaje al botánico Rufino Sagredo, Instituto de Estudios Almerienses, Almería, España.

Capstick R., 2007. *Assessment of the bio-fuels value chain in Indonesia*. The United States Agency for International Development (USAID).

Carneiro S.M., Ramos A.L.M., Romano E., Marianowski T., de Oliveira J.P., 2009. Ocorrência de *Phakopsora jatrophicola* em pinhão manso no estado do Paraná, Summa Phytopathologica 35 (1): 73.

Chakrabarti M.H., Ali M., Usmani J.N., Khan N.A., Hasan D.B., Islam S., Abdul Raman A.A., Yusoff R., Irfan M.F. 2012. Status of biodiesel research and development in Pakistan. Renewable and Sustainable Energy Reviews 16: 4396–4405.

Chaudhary D.R., Patolia J.S., Ghosh A., Chikara J., Boricha G.N., Zala A., 2007. Changes in soil characteristics and foliage nutrient content in *Jatropha curcas* plantations in relation to stand density in indian wasteland. Expert seminar on *Jatropha curcas* L., Agronomy and genetics, FACT Foundation, Wageningen, Holanda.

D’Silva E., Wani S.P., Nagnath B., 2004. The making of new Powerguda: community empowerment and new technologies transform a problem village in Andhra Pradesh. Global Theme on Agroecosystems 11, Patancheru, India.

De Oliveira J.S., Leite P.M., de Souza L.B., Mello V.M., Silva E.C., Rubim J.C., Meneghetti S., Suarez P., 2009. Characteristics and composition of *Jatropha gossypifolia* and *Jatropha curcas* L. oils and application for biodiesel production. Biomass and Bioenergy 33: 449-453.

Del Greco G.V., Rademakers L., 2006. The *Jatropha* energy system: an integrated approach to decentralised and sustainable energy production at the village level. Ingegneria Senza Frontiere, Italia.

Demirbas A., 2008. Biofuels sources, biofuel policy, biofuel economy and global biofuel projections. Energy Conversion and Management 49: 2106–2116.

Demirbas A.H., Demirbas I., 2007. Importance of rural bioenergy for developing countries. Energy Conversion and Management 48(8): 2386–2398.

Dianese A.C., Dianese J.C., dos Santos Junior J.D.G., 2010. New records for the brazilian Cerrado of leaf pathogens on *Jatropha curcas*. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 293, Embrapa Cerrados, Brasil.

7.- Bibliografía

Díaz-López L., Gimeno V., Lidón V., Simón I., Martínez V., García-Sánchez F., 2012. The tolerance of *Jatropha curcas* seedlings to NaCl: An ecophysiological analysis. *Plant Physiology and Biochemistry* 54: 34-42.

Díaz-López L., Gimeno V., Simón I., Martínez V., Rodríguez-Ortega W.M., García-Sánchez F., 2012. *Jatropha curcas* seedlings show a water conservation strategy under drought conditions based on decreasing leaf growth and stomatal conductance. *Agricultural Water Management* 105: 48–56.

Díaz-Romeu R., Hunter A., 1978. Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal e investigación en invernadero. CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza), Turrialba, Costa Rica.

Divakara B.N., Upadhyaya H.D., Wani S.P., Gowda C.L.L., 2010. Biology and genetic improvement of *Jatropha curcas* L.: a review. *Applied Energy* 87(3): 732–742.

Dyer J.C., Stringer L.C., Dougill A.J., 2012. *Jatropha curcas*: Sowing local seeds of success in Malawi? *Journal of Arid Environments* 79: 107-110.

Eckart K., Henshaw P., 2012. *Jatropha curcas* L. and multifunctional platforms for the development of rural sub-Saharan Africa. *Energy for Sustainable Development* 16: 303–311.

Elías F., Castellví F., 2001. Agrometeorología. Mundi-Prensa, Madrid, España.

Estrin A.N., 2009. Development of the *Jatropha* cultivation and biodiesel production: Case of Karnataka State, India. Imperial College, Londres, Reino Unido.

Everson C.S., Mengistu M.G., Gush M.B., 2013. A field assessment of the agronomic performance and water use of *Jatropha curcas* in South Africa. *Biomass and Bioenergy* 59: 59-69.

FACT, 2009. Manual de *Jatropha* (versión en español). FACT Foundation, Eindhoven, Holanda.

FAO (Food and Agriculture Organization), 2008. Soaring food prices: facts, perspectives, impacts and actions required. High-Level Conference on World Food Security: The challenges of climate change and bioenergy.

Fargione J., Hill J., Tilman D., Polasky S., Hawthorne P., 2008. Land clearing and the biofuel carbon debt. *Science* 319: 1235.

Favretto N., Stringer L.C., Dougill A.J., 2012. Cultivating clean energy in Mali: policy analysis and livelihood impacts of *Jatropha curcas*. Centre for Climate Change Economics and Policy n°84, Sustainability Research Institute n° 28.

Fernández J.M., 2010. Guía completa de la biomasa y los biocombustibles. AMV, Madrid, España.

Findlater K.M., Kandlikar M., 2011. Land use and second-generation biofuel feedstocks: The unconsidered impacts of *Jatropha* biodiesel in Rajasthan, India. *Energy Policy* 39: 3404–3413.

Firdaus M., Hanif A.H.M., Safie A.S.R., 2010. Carbon sequestration potential in soil and biomass of *J. curcas*.

FOE (Friends of the Earth), 2006. The use of palm oil for biofuel and as biomass for energy.

Foidl N., Foidl G., Sánchez M., Mittelbach M., Hackel S., 1996. *Jatropha curcas* L. as a source for the production of biofuel in Nicaragua, *Bioresource Technology* 58: 77-82.

Francis G., Edinger R., Becker K., 2005. A concept for simultaneous wasteland reclamation, fuel production, and socio-economic development in degraded areas in India: need, potential and perspectives of *Jatropha* plantations. *Natural Resources Forum* 29: 12-24.

Fresnedo-Ramírez J., Orozco-Ramírez Q., 2012. Diversity and distribution of genus *Jatropha* in Mexico, *Genetic Resources and Crop Evolution* 60: 1087–1104.

7.- Bibliografía

Gagnaux P.C.A., 2008. Incidência da entomofauna associada à cultura de Jatrofa (*Jatropha curcas* L) em Moçambique. Tesis, Universidades Eduardo Mondlane, Mozambique.

Garcete L., Orrego A., Rodríguez H., 2009. Primeros reportes de patógenos de *Jatropha curcas* en Paraguay en cultivos implantados. I Congreso brasileiro de pesquisas de pinhão manso, Brasília, Brasil.

Gexsi, 2008. Global market study on *Jatropha*. Final Report. Prepared for the World Wide Fund for Nature (WWF). Global Exchange for Social Investment.

Ghezehei S.B., Annandale J.G., Everson C.S., 2009. Shoot allometry of *Jatropha curcas*. Southern Forests: a Journal of Forest Science 71(4): 279-286.

Ghokale D., 2008. *Jatropha*: Experience of agro-forestry and wasteland development Foundation. International consultation on pro-poor *Jatropha* development (Roma, 10–11 Abril), International Fund for Agricultural Development (IFAD).

Jimeno V., Syvertsen J.P., Simón I., Nieves M., Díaz-López L., Martínez V., García-Sánchez F., 2012. Physiological and morphological responses to flooding with fresh or saline water in *Jatropha curcas*. Environmental and Experimental Botany 78: 47–55.

Gmünder S., Singh R., Pfister S., Adheloia A., Zah R., 2012. Environmental Impacts of *Jatropha curcas* Biodiesel in India. Journal of Biomedicine and Biotechnology Vol. 2012, ID 623070.

Gour V.K., 2006. Production practices including post harvest management of *Jatropha curcas*. Ed. Singh B., Swaminathan R., Ponraj V., Biodiesel conference towards energy independence - focus on *Jatropha*, 9-10 Junio, Rashtrapati Nilayam, Bolarum, Hyderabad, India.

Govaerts R., Frodin D.G., Radcliffe-Smith A., Carter S., Royal Botanic Gardens Kew, 2012. World checklist and bibliography of Euphorbiaceae (with Pandaceae). World checklists and bibliographies, vol 4. Royal Botanic Gardens, Kew, Richmond, Surrey, Reino Unido.

Grimm C., 1999. Evaluación de los daños físicos a la nuez de *Jatropha curcas* por insectos. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 92 (2): 127-136, Institute of Forest Entomology, Forest Pathology and Forest Protection, University of Agricultural Sciences, Vienna, Austria.

Grimm C., Maes J.M. 1997. Fauna artrópoda asociada a *Jatropha curcas* L. en Nicaragua: una sinopsis de especies, su biología y situación de plagas. Ed. Gübitz G.M., Mittelbach M., Trabi M., Biocombustibles y productos industriales de *Jatropha curcas* (simposio “*Jatropha 97*” Managua, Nicaragua), Verlag Dbv 31–39, Austria.

Gübitz G.M., Mittelbach M., Trabi M., 1999. Exploitation of the tropical oil seed plant *Jatropha curcas* L. *Bioresource Technology* 67(1): 73–82.

Heller J., 1992. Untersuchungen genotypische über eigenschaften und vermehrungsund anbauverfahren bei der purgiernuß (*Jatropha curcas* L.) [Estudios sobre las características genotípicas, propagación y métodos de cultivo de *Jatropha curcas* L.]. Verlag Dr. Kovac, Hamburgo, Alemania.

Heller J., 1996. Physic nut (*Jatropha curcas* L.), Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben, International Plant Genetic Resources Institute, Roma, Italia.

Henning R.K., 2000. The *Jatropha* Manual. A guide to the integrated exploitation of the *Jatropha* plant in Zambia. baganí GbR, GTZ, Weissenberg, Alemania.

Henning R.K., 2003. The *Jatropha* booklet. A guide to the *Jatropha* system ans its dissemination in Africa. baganí GbR, Weissenberg, Alemania.

Henning R.K., 2007. *Jatropha curcas* L. Ed: Van der Vossen H.A.M., Mkamilo G.S., Recursos vegetales del África tropical 14, Aceites vegetales 103-108, Fundación PROTA, Backhuys Publishers, Wageningen, Holanda.

Heuvel dop J., Pardo J., Quiros S., Espinoza L., 1986. Agroclimatología tropical. Ed. Universidad Estatal a distancia (EUNED), San José, Costa Rica.

7.- Bibliografía

Iltis H., Cornejo X., 2007. Studies in the Capparaceae: *Capparicordis*, a new genus from the neotropics. *Brittonia* 59(3): 245-254.

INIA (Instituto Nacional de Investigación Agraria), 2009. Monitoreo e identificación de plagas y controladores biológicos en piñón blanco (*Jatropha curcas* L.). Ministerio de Agricultura, Gobierno Regional de San Martín, Tarapoto, Perú.

INYPSA (Informes y proyectos S.A.), 2000. Mapa geológico de la República Dominicana. Padre Las Casas (6072-III). Consorcio ITGE-PROINTEC-INYPSA. Programa de Cartografía Geotemática. Dirección General de Minería. Santo Domingo, República Dominicana.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2003. Good practice guidance for land use. Land-Use Change and Forestry.

ISTA (International Seed Testing Association), 2006. Method validation for seed testing.

Jain S., Sharma M.P., 2010. Biodiesel production from *Jatropha curcas* oil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14: 3140-3147.

Jain S., Sharma M.P., 2010. Prospects of biodiesel from *Jatropha* in India: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14: 763–771.

Jayma L., Kessing M., Mau R.F.L., 1993. *Polyphagotasonemus latus* (Banks), Broad mite. University of Hawaii, Department of Entomology, Crop Knowledge Master.

Jingura R.M., 2011. Technical options for optimization of production of *Jatropha* as a biofuel feedstock in arid and semi-arid areas of Zimbabwe. *Biomass and Bioenergy* 35: 2127-2132.

Jingura R.M., Matengaifa R., Musademba D., Musiyiwa K., 2011. Characterisation of land types and agro-ecological conditions for production of *Jatropha* as a feedstock for biofuels in Zimbabwe. *Biomass and Bioenergy* 35: 2080-2086.

Johansson T., McDade S., 1999. Global warming post-Kyoto: continuing impasse or prospects for progress? Ed. McCarthy E., Martin F., *Energy Development Report* 69-71.

- Jongschaap R.E.E., Corré W.J., Bindraban P.S., Bandenburg W.A., 2007. Claims and facts on *Jatropha curcas*. Global *Jatropha curcas* evaluation, breeding and propagation programme. Plant Research International, Wageningen, Holanda.
- Kalam M.A., Ahamed J.U., Masjuki H.H, 2012. Land availability of *Jatropha* production in Malaysia. Renewable and Sustainable Energy Reviews 16: 3999–4007.
- Kant P., Wu S., 2011. The extraordinary collapse of *Jatropha* as a global biofuel. Environmental Science and Technology 45: 7114-7115.
- Kenis M., 2013. Jatrophability: Impacts of tropical land use conversion to *Jatropha* and oil palm on rural livelihoods and ecosystem services in India and Mexico. Final report for SDC, ERA-ARD, CABI.
- Kesava Rao A.V.R., Wani S.P., Singh P., Srinivas K., Srinivasa Rao C., 2012. Water requirement and use by *Jatropha curcas* in a semi-arid tropical location. Biomass and Bioenergy 39: 175-181.
- King L.J., 1966. Weeds of the world. Leonard Hill Books, Gramplan Press Ltd. Londres. También disponible en Taylor & Francis Group, International Journal of Pest Management 12 (4).
- Knothe G., 2006. Analyzing biodiesel: standards and other methods. Journal of the American Oil Chemists' Society 83(10): 823–833.
- Kochhar S., Singh S.P., Kochhar V.K., 2008. Effect of auxins and associated biochemical changes during clonal propagation of the biofuel plant - *Jatropha curcas*. Biomass and bioenergy 32: 1136-1143.
- Koh M.Y., Ghazi T.I.M., 2011. A review of biodiesel production from *Jatropha curcas* L. oil. Renewable and Sustainable Energy Reviews 15(5): 2240–2251.
- Krishnamurthy L., Zaman-Allah M., Marimuthu S., Wani S.P., Kesava Rao A.V.R., 2012. Root growth in *Jatropha* and its implications for drought adaptation. Biomass and Bioenergy 39: 247-252.

7.- Bibliografía

- Kumar A., Sharma S., 2011. Potential non-edible oil resources as biodiesel feed-stock: an Indian perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15(4): 1791–1800.
- Kumar D., Singh S., Sharma R., Kumar V., Chandra H., Malhotra K., 2011. Above-ground morphological predictors of rooting success in rooted cuttings of *Jatropha curcas* L. *Biomass and Bioenergy* 35: 3891-3895.
- Kumari M., Patade V.Y., Arif M., Ahmed Z., 2010. Effect of IBA on seed germination, sprouting and rooting in cuttings for mass propagation of *Jatropha curcas* L. Strain DARL-2. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences* 6(6): 691-696.
- Lanteri A., Guedes J.C., Parra J.R.P., 2002. Weevils injurious for roots of *Citrus* in São Paulo state, Brazil. *Systematics, morphology and physiology. Neotropical Entomology* 31(4): 561-569.
- Lim S., Teong L.K., 2010. Recent trends, opportunities and challenges of biodiesel in Malaysia: an overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14(3): 938–954.
- Lin C., Lin Y., Liu J., 2007. A study on the diversity and exploiting prospect of energy plant resources. *Journal of Henan Agricultural Sciences* 12: 17–21.
- Liogier H.A., 1996. *La flora de la Española*. Universidad Central del Este, San Pedro de Macorís, República Dominicana.
- Little E., Wadsworth F., Marrero J., 1967. *Árboles comunes de Puerto Rico y las Islas Vírgenes*. Universidad de Puerto Rico.
- MacDicken K., 1997. *A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects*. Winrock Internacional Institute for Agricultural Development, Arlington, Estados Unidos.
- Maes W.H., Achten W.M.J., Muys B., 2009. Use of inadequate data and methodological errors lead to an overestimation of the water footprint of *Jatropha curcas*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 106 n°34.

Maes W.H., Achten W.M.J., Reubens B., Muys B., 2011. Monitoring stomatal conductance of *Jatropha curcas* seedlings under different levels of water shortage with infrared thermography. *Agricultural and Forest Meteorology* 151: 554–564.

Maes W.H., Achten W.M.J., Reubens B., Samson R., Muys B., 2009. Plant-water relationships and growth strategies of *Jatropha curcas* L. saplings under different levels of drought stress. *Journal of Arid Environments* 73(10): 877-884.

Makkar H.P.S., Aderibigbe A.O., Becker K., 1998. Comparative evaluation of non-toxic and toxic varieties of *Jatropha curcas* for chemical composition, digestibility, protein degradability and toxic factors. *Food chemistry* 62: 207-215.

Makkar H.P.S., Becker K., Sporer F., Wink M., 1997. Studies on nutritive potential and toxic constituents of different provenances of *Jatropha curcas*. *Journal of Agricultural Food Chemistry* 45: 3152–3157.

Makungwa S., Chittock A., Skole D., Kanyama-Phiri G.Y., Woodhouse I.H., 2013. Allometry for biomass estimation in *Jatropha* trees planted as boundary hedge in farmers' fields. *Forests* 4: 218-233.

Manurung R., Wever D.A.Z., Wildschut J., Venderbosch R.H., Hidayat H., van Dam J.E.G., Leijenhors E.J., Broekhuis A.A., Heeres H.J., 2009. Valorisation of *Jatropha curcas* L. plant parts: Nut shell conversion to fast pyrolysis oil. *Food and bioproducts processing* 87: 187-196.

Marini R.P., Sowers D.S., 2000. Peach tree growth, yield, and profitability as influenced by tree form and tree density. *Horticultural Science* 35: 827-32.

Matsuno T., Ohsawa U., Toyohara H., Nishiyama K., 1985. Investigation of oil plants and characteristics of some oil plant seeds. *Journal of Agricultural Science* 29(3): 160-174.

Mattana Saturnino H., Pacheco D., Kakida J., Tominaga N., Gonçalves N., 2005. Cultura do pinhão-mansô (*Jatropha curcas* L.). EPAMIG-CTNM, Informe Agropecuário: Produção de oleaginosas para biodiesel, Belo Horizonte, Brasil.

7.- Bibliografía

- Mejía M., 2006. Flora de La Española: conocimiento actual y estado de conservación. IX Congreso Latinoamericano de Botánica; Libro de Resúmenes, Santo Domingo (18-25 de Junio), República Dominicana.
- Mofijur M., Masjuki H.H., Kalam M.A., Hazrat M.A., Liaquat A.M., Shahabuddin M., Varman M., 2012. Prospects of biodiesel from *Jatropha* in Malaysia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16: 5007–5020.
- Mohibbe Azam M., Waris A., Nahar N.M., 2005. Prospects and potential of fatty acid methyl esters of some non-traditional seed oils for use as biodiesel in India. *Biomass and Bioenergy* 29(4): 293-302.
- Molina E., Meléndez G., 2002. Tabla de interpretación de análisis de suelos. Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica.
- Montero G., Ruiz-Peinado R., Muñoz M., 2005. Producción de biomasa y fijación de CO₂ por los bosques españoles. EGMASA, Junta de Andalucía, Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria, Monografías INIA: Serie Forestal, Madrid, España.
- Moura dos Santos C., Verissimo V., Wanderley H.C., Ferreira V.M., Cavalcante P.G., Rolim E.V., Endres L., 2013. Seasonal variations of photosynthesis, gas exchange, quantum efficiency of photosystem II and biochemical responses of *Jatropha curcas* L. grown in semi-humid and semi-arid areas subject to water stress. *Industrial Crops and Products* 41: 203–213.
- Mponela P., Mwase W.F., Jumbe C.B.L., Ntholo M., 2010. Plant species diversity on marginal and degraded areas for *Jatropha curcas* L. cultivation in Malawi. *African Journal of Agricultural Research* 5(12): 1497-1503.
- Murugesan A., Umarani C., Chinnusamy T.R., Krishnan M., Subramanian R., Neduzchezhain N., 2009. Production and analysis of biodiesel from non-edible oils; a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13(4): 825–834.
- Muturi M., Kariuki J.G., Poorter L., Mohren G., 2011. Allometric equations for estimating biomass in naturally established *Prosopis* stands in Kenya. *Journal of Horticulture and Forestry* 4(2): 69-77.

Narin S., Stienswat W., 1983. Effect of IBA on root formation of stem-cutting of purging nut. Faculty of Agriculture, Department of Horticulture, Kasetsart University, Bangkok, Tailandia.

Nath P., 2007. Illustrated dictionary of entomology. New India Publishing Agency, Nueva Delhi, India.

Ndong R., Montrejaud-Vignoles M., Girons O.S. 2009. Life cycle assessment of biofuels from *Jatropha curcas* in West Africa: a field study. Global Climatic Biology and Bioenergy 3: 197–210.

Nielsen F., De Jongh J., 2009. Producción de aceite de *Jatropha curcas* L. para el desarrollo local en Mozambique, FACT Foundation, Eindhoven, Holanda.

Nielsen F., Raghavan K., de Jongh J., Huffman D., 2013. *Jatropha* for local development, after the hype. Hivos people unlimited, FACT Foundation, Banana Hill, Arrakis.

ONE (Oficina Nacional de Estadística), 2013. Condiciones de vida de la población rural: Situación socioeconómica de las zonas rurales en la República Dominicana. Oficina Nacional de Estadística, República Dominicana.

Openshaw K., 2000. A review of *Jatropha curcas* L.: an oil plant of unfulfilled promise. Biomass and Bioenergy 19(1): 1-15.

Orwa C., Mutua A., Kindt R., Jamnadass R., Anthony S., 2009. Agroforestry Database: a tree reference and selection guide (version 4.0). World Agroforestry Centre, Kenia.

Ouwens D.K., Francis G., Franken Y.J., Rijssenbeek W., Riedacker R., Foidl N., Jongschaap R., Bindraban P., 2007. Position paper on *Jatropha curcas* L. State of the art, small and large scale project development. FACT Foundation, Eindhoven, Holanda.

Pacheco D., Mattana Saturnino H., Santos D., Dias de Souza P., Braz de Almeida Junior A., Ribeiro P., Antunes P., 2007. Avaliação nutricional de pinhão-mansô em função de cálcio e magnésio usados como corretivos de acidez de solo. EPAMIG-CTNM.

7.- Bibliografía

- Padilla D., Monterroso D., 1999. Diagnóstico preliminar de enfermedades del cultivo de tempate (*Jatropha curcas* L.) en Nicaragua. Manejo Integrado de Plagas 51: 66-69., Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Costa Rica.
- Pandey A., 2008. Handbook of plant-based biofuels. Taylor & Francis Group.
- Pandey K.K., Pragma N., Sahoo P.K., 2011. Life cycle assessment of small scale high-input *Jatropha* biodiesel production in India. Applied Energy 88: 4831–4839.
- Pandey V.C., Singh K., Singh J.S., Kumar A., Singh B., Sing R.P., 2012. *Jatropha curcas*: A potential biofuel plant for sustainable environmental development. Renewable and Sustainable Energy Reviews 16, 2870–2883.
- Parawira W., 2010. Biodiesel production from *Jatropha curcas*: A review. Scientific research and essays 5(14): 1796-1808.
- Parfit M., 2005. Future power: where will the world get its nextenergy fix? National Geographic, 2-31 (Agosto).
- Patolia J.S., Ghosh A., Chikara J., Chaudharry D.R., Parmar D.R., and Bhuva H., 2007. Response of *Jatropha curcas* L. grown on wasteland to N and P fertilization. FACT seminar on *Jatropha curcas* L., Agronomy and Genetics, Wageningen, Holanda.
- Peña N., 2008. Biofuels for transportation: A climate perspective. Pew Center.
- Peña J., Pimentel A., De la Rosa D., De los Santos L., D'Oleo J., Montás A., 2007. Estudio base sobre la producción y comercialización de oleaginosas para el biodiesel en la República Dominicana. Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales, Consejo Nacional de Competitividad, Santo Domingo, República Dominicana.
- Pérez S., Díaz A., Montes de Oca S., Atala Y., García S., 2007. Potencialidades energéticas y medioambientales del árbol *Jatropha curcas* L. en las condiciones edafoclimáticas de la región semiárida de la provincia de Guantánamo. Tecnología Química vol. XXVII: 2.

Perez-Gelabert D.E., 2008. Arthropods of Hispaniola (Dominican Republic and Haiti): A checklist and bibliography. Zootaxa 1831, Magnolia Press, Auckland, Nueva Zelanda.

PNOC-AFC (The Philippine National Oil Company - Alternative Fuels Corporation) 2007. *Jatropha curcas* L. The Philippine Information Agency, Quezon, República de Filipinas.

Pompelli M.F., Barata-Luís R., Vitorino H.S., Gonçalves E.R., Rolim E.V., Santos M.G., Almeida-Cortez J.S., Ferreira V.M., Lemos E.E., Endres L., 2010. Photosynthesis, photoprotection and antioxidant activity of purging nut under drought deficit and recovery. Biomass and Bioenergy 34: 1207-1215.

Porta J., López-Acevedo M., Rodríguez Ochoa R., 1986. Técnica y experimentos en edafología. Col·legi Oficial d'Enginyers Agrònoms de Catalunya.

Porta J., López-Acevedo M., Roquero C., 1994. Edafología para la agricultura y el medioambiente. Ed. Mundi-Prensa.

Pradhan R.C., Mishra S., Naik S.N., Bhatnagar N., Vijay V.K., 2011. Oil expression from *Jatropha* seed using a screw press expeller. Biosystems Engineering 109(2): 158–66.

Prajapati N.D., Prajapati T., 2005. A hand book of *Jatropha curcas* L. (Physic nut). Asian Medical Plant and Health Care Trust, Jodhpur, India.

Prueksakorn K., Gheewala S.H., 2008. Full chain energy analysis of biodiesel from *Jatropha curcas* L. in Thailand, Environmental Science and Technology 42: 3388–3393.

Rajagopal R., 2007. Sustainable Biodiesel Feedstock. *Jatropha*: A Strategic option. Knowgenix.

Rajaona A.M., Brueck H., Asch F., 2011. Effect of pruning history on growth and dry mass partitioning of *Jatropha* on a plantation site in Madagascar, Biomass and Bioenergy 35: 4892-4900.

7.- Bibliografía

Ramírez S.K., Snehi S.K., Kumar S., Hand M.S., Pathre U., 2008. Primera identificación molecular de un Begomovirus en la India que está estrechamente relacionado con el virus mosaico de la yuca y que causa el mosaico y retraso en el crecimiento de *Jatropha curcas* L. *Australasian Plant Disease* 69-72.

Rao V.R., 2006. The *Jatropha* hype: promise and performance. Ed. Singh B., Swaminathan R., Ponraj V., *Biodiesel conference towards energy independence - focus on Jatropha* (9-10 Junio), Rashtrapati Nilayam, Bolarum, Hyderabad, Andra Pradesh, India.

Rasmussen V., Rasmussen K., Bech Bruun T., 2012. Impacts of *Jatropha*-based biodiesel production on above and below-ground carbon stocks: A case study from Mozambique. *Energy Policy* 51: 728–736.

Raunkiaer O., 1934. *The life forms of plants and statistical plant geography*. Clarendon Press, Oxford, Reino Unido.

Ravindranath N.H., Sita Lakshmi C., Manuvie R., Balachandra P., 2011. Biofuel production and implications for land use, food production and environment in India, *Energy Policy* 39: 5737–5745.

Razón L.F., 2009. *Alternative crops for biodiesel feedstock*. CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources No. 056.

Reinhardt G., Becker K., Chaudhary D.R., Chikara J., von Falkenstein E., Francis G., Gärtner S., Gandhi M.R., Ghosh A., Makkar H., Münch J., Patolia J.S., Reddy M.P., Rettenmaier N., Upadhyay S.C., 2008. *Basic Data for Jatropha production and use*. Institute for Energy and Environmental Research (ifeu), Central Salt & Marine Chemicals Research Institute (CSMCRI), University of Hohenheim - Institute of Animal Production in the Tropics and Subtropics.

Reis A., Liparini O., 2012. Major diseases of the biofuel plant, physic nut (*Jatropha curcas*). *Biodiesel - Feedstocks, Production and Applications*, Ed. Prof. Zhen Fang, InTech.

Reubens S., Achten W.M.J., Maes W.H., Danjon F., Aerts R., Poesen J., Muys B., 2011. More than biofuel? *Jatropha curcas* root system symmetry

and potential for soil erosion control. *Journal of Arid Environments* 75(2): 201–205.

Riegelhaupt E., Barbosa da Silva I., Barreto F., Pareyn F., 1986. Volume, weight and product tables for *Prosopis juliflora* (Sw.) at Rio Grande do Norte. The current state of knowledge on *Prosopis juliflora*, II International conference on *Prosopis*, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Secretaria de Agricultura de Pernambuco, International Prosopis Association, Food And Agriculture Organization (FAO), Recife, Brasil.

Romijn H., 2011. Land clearing and greenhouse gas emissions from *Jatropha* biofuels on African miombo woodlands. *Energy Policy* 39: 5751-5762.

Ruesch A., Gibbs H.K., 2008. New IPCC Global Biomass Carbon Map for the year 2000. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, Estados Unidos.

Saline and Alkali Soils, 1954-1969. United States Salinity Laboratory Staff, United States Department of Agriculture (USDA), Handbook nº60.

Sapeta H., Costa J.M., Lourenço T., Maroco J., Van der Linde P., Oliveira M., 2013. Drought stress response in *Jatropha curcas*: Growth and physiology. *Environmental and Experimental Botany* 85: 76–84.

Schiffino J., 1945. Riqueza forestal dominicana. Secretaría de Estado de Agricultura y Riego, Ed. Montalvo, República Dominicana.

SEA (Secretaría de Estado de Agricultura), 1996. Informe Nacional para la Conferencia Técnica Internacional de la FAO sobre los Recursos Fitogenéticos (Leipzig). Subsecretaría de Estado de Investigación, Extensión y Capacitación Agropecuaria, Santo Domingo, Republica Dominicana.

Severino L., Lima R., Lucena A., Freire M., Sampaio L., Veras R., Medeiros K., Sofiatti V., Arriel N., 2011. Propagation by stem cuttings and root system structure of *Jatropha curcas*. *Biomass and Bioenergy* 35: 3160-3166.

7.- Bibliografía

Shahid E.M., Jamal Y., 2008. A review of biodiesel as vehicular fuel. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 12, 2484–2494.

Sharma D.K., Pandey A.K., Lata, 2009. Use of *Jatropha curcas* hull biomass for bioactive compost production. *Biomass and bioenergy* 33: 159-162.

Siang C.C., 2009. *Jatropha curcas* L. Development of a new crop oil for biofuel, The Institute of Energy Economics, Japón.

Silitonga A.S., Atabani A.E., Mahlia T.M., Masjuki H.H., Badruddin I.A., Mekhilef S., 2011. A review on prospect of *Jatropha curcas* for biodiesel in Indonesia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15: 3733-3756.

Silva E.N., Ribeiro R.V., Ferreira-Silva S.L., Viégas R.A., Silveira J.A., 2010. Comparative effects of salinity and water stress on photosynthesis, water relations and growth of *Jatropha curcas* plants. *Journal of Arid Environments* 74(10): 1130-1137.

Singh L., Bargali S.S, Swamy S.L., 2006. Production practices and post-harvest management in *Jatropha*. Ed. Singh B., Swaminathan R., Ponraj V., *Biodiesel conference towards energy independence - focus on Jatropha* (9-10 Junio), Rashtrapati Nilayam, Bolarum, Hyderabad, Andra Pradesh, India.

Singh R.A., Kumar M., Haider I., 2007. Synergistic cropping of summer groundnut with *Jatropha curcas*; a new two-tier cropping system for Uttar Pradesh. *ICRISAT (International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics)* 5(1): 1–2.

Singh R.N., Jena U., Patel J.B., Sharma A.M., 2006. Feasibility study of cashew nut shells as an open core gasifier feedstock. *Renewable Energy* 31(4): 481–487.

Smeets E.M.W., Faaij A.P.C., Lewandowski I.M., Turkenburg W.C., 2007. A bottom-up assessment and review of global bio-energy potentials to 2050. *Progress in Energy and Combustion Science* 33(1): 56–106.

Smith M., Allen R., Montetih J.L., Perrier A., Santos Pereira L., Segeren A., 1992. Expert consultation on revision of FAO methodologies for crop water requirements. Food and Agriculture Organization (FAO), Roma, Italia.

Soil Survey Laboratory Information Manual, 1995. United States Department of Agriculture (USDA).

Soil Survey Staff, 1964. Soil Classification. A comprehensive System in 7th Aproximation, United States Department of Agriculture (USDA).

Soil Survey Staff, 1993. Soil survey manual. United States Department of Agriculture (USDA), Handbook n°18.

Solomon Raju A.J., Ezradanam V., 2002. Pollination ecology and fruiting behaviour in a monoecious species, *Jatropha curcas* L. (Euphorbiaceae). Current Science 83: 1395-1398.

Sotolongo J.A.P., Díaz A.A.G., Oca S.M.L., Valle Y.A., García S.P., 2007. Potencialidades energéticas y medio ambientales del árbol *Jatropha curcas* L. en las condiciones edafoclimáticas de la región semiárida de la provincia de Guantánamo. Tecnología Química 27: 76-82.

Srivastava P., Behera S.K., Gupta J., Jamil S., Singh N., Sharma Y.K., 2011. Growth performance, variability in yield traits and oil content of selected accessions of *Jatropha curcas* L. growing in a large scale plantation site. Biomass and Bioenergy 35: 3936-3942.

Stienswat W., Rattanaserikiat S., Nimunchat S., 1986. The studies on growing of physic nut (*Jatropha curcas* L.) in the large test plot. Research reports on growing of physic nut (*Jatropha curcas* L.) for diesel fuel substitute. Kasetsart University, Bangkok, Tailandia.

Sudhakar K., Rajesh M., Premalatha M., 2012. Carbon mitigation potential of *Jatropha* biodiesel in indian context. Energy Procedia 14: 1421-1426.

Suriharn B., Sanitchon J., Songsri P., Kesmala T., 2011. Effects of pruning levels and fertilizers rates on yield of physic nut. Asian Journal of Plant Sciences 10(1): 52-29.

Terren M., Mignon J., Declerck C., Jijakli H., Savery S., Jacquet de Haveskercke P., Winandy S., Mergeai G., 2012. Principal disease and insect pests of *Jatropha curcas* L. in the Lower Valley of the Senegal River. Tropicultura 30 (4): 222-229.

7.- Bibliografía

Tewari D.N., 2007. *Jatropha* and biodiesel. Ocean Books Ltd., New Delhi, India.

Tewari J.C., Mathur B.K., Tewari P., Singh Y., Singh M., Ram M., Sharma A., 2013. *Prosopis juliflora*: A miracle species of hot arid and semi-arid regions of India. Popular Kheti 1(2).

Tirado G., 2003. Los suelos de la República Dominicana. Food and Agriculture Organization (FAO), Santo Domingo, República Dominicana.

Tiwari A.K., Kumar A., Raheman H., 2007. Biodiesel production from *Jatropha* oil (*Jatropha curcas*) with high free fatty acids: An optimized process. Biomass and Bioenergy 31: 569-575.

Tomomatsu Y., Swallow B., 2007. *Jatropha curcas* biodiesel production in Kenya: economics and potential value chain development for smallholder farmers. WP 54, World Agroforestry Centre, Nairobi, Kenya.

Trochez A., 1987. Manual de reconocimiento de insectos asociados con productos almacenados. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), Instituto Colombiano Agropecuario, Subgerencia Fomento y Servicios, División de Sanidad Vegetal, Serie Publicaciones Misceláneas, Bogotá, Colombia.

Urbano P., 2008. Fitotecnia: Ingeniería de la producción vegetal. Mundi-Prensa, Madrid, España.

Uriarte F.A., 2010. Biofuels from plant oils. ASEAN Foundation, Jakarta, Indonesia.

USDA, 1970. Soil Conservation Irrigation water requirement. United States Department of Agriculture.

Van Eijck J., Romijn H., 2008. Prospects for *Jatropha* biofuels in Tanzania: An analysis with strategic niche management. Energy Policy 36: 311–325.

Vang L., 2009. Climate change mitigation: Dyrkning af *Jatropha* blandt småbønder i Mozambique. Tesis de Máster, Instituto de Geografía, Universidad de Copenhague, Dinamarca.

Veen M., 2011. Promoción de *Jatropha* en sistemas agroforestales en San Martín, Perú: Informe de evaluación, SNV, Hivos, San Martín, Perú.

VVAA, 2004. Atlas Climático de la República Dominicana. Onamet-JICA, Santo Domingo, República Dominicana.

VVAA, 2011. Lista de especies en peligro de extinción, amenazadas o protegidas de la República Dominicana (Lista Roja). Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, USAID del pueblo de los Estados Unidos de América, The Nature Conservancy, Instituto Tecnológico de Santo Domingo (INTEC), República Dominicana.

Vyas D.K., Singh R.N., 2007. Feasibility study of *Jatropha* seed husk as an open core gasifier feedstock. *Renewable Energy* 32(3): 512-517.

Wahl N., Jamnadass R., Baur H., Munste C., Iiyama M., 2009. Economic viability of *Jatropha curcas* L. plantations in Northern Tanzania. *World Agroforestry Centre (ICRAF) n° 97*, Nairobi, Kenia.

Walkley A., Black I.A., 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37: 29-38.

Wang Q., 2005. Development and utilization of the energy plant. *Journal of Fujian Forestry Science and Technology* 32(2): 1-5.

Wang Z., Calderon M.M., Lu Y., 2011. Lifecycle assessment of the economic, environmental and energy performance of *Jatropha curcas* L. biodiesel in China. *Biomass and Bioenergy* 35: 2893-2902.

Wani S.P., 2013. *Jatropha curcas* L., Biofuel crops: Production, physiology and genetics. Ed: Singh B., CABI, Fort Valley State University, Fort Valley, Georgia, Estados Unidos.

Wani S.P., Chander G., Sahrawat K.L., Srinivasa Rao Ch., Raghvendra G., Susanna P., Pavani M., 2012. Carbon sequestration and land rehabilitation through *Jatropha curcas* (L.) plantation in degraded lands. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 161: 112-120.

7.- Bibliografia

Wani S.P., Osman M., D'Silva E., Sreedevi T.K., 2006. Improved livelihoods and environmental protection through biodiesel plantations in Asia. *Asian Biotechnology and Development Review* 8: 11-29.

Wani S.P., Sreedevi T.K., Kesava Rao A.V.R., Dixin Y., 2007. Biofuels: a strategy for enhanced water use efficiency, improved livelihoods and protecting environment in the semi-arid tropics. Linkages between energy and water management for agriculture in developing countries, ICRISAT, IWMI, FAO, IWREC, Patancheru, India.

Wani S.P., Sreedevi T.K., Marimuthu S., 2008. Pro-poor biodiesel initiative for rehabilitating degraded drylands. International consultation on pro-poor *Jatropha* development (Roma, 10–11 Abril), International Fund for Agricultural Development (IFAD).

Waterhouse D.F., Norris K.R., 1987. Biological control; Pacific Prospects. Australian Centre for International Agricultural Research, Inkata Press, Melbourne, Australia.

Wicke B., Smeets E., Watson H., Faaij A., 2011. The current bioenergy production potential of semi-arid and arid regions in sub-Saharan Africa, *Biomass and Bioenergy* 35: 2773-2786.

Wirawan S.S., 2009. Potential of *Jatropha curcas* L. Joint Task 40/ERIA Workshop, Tsukuba, Japan.

Wiskerke W.T., Dornburg V., Rubanza C.D.K., Malimbwi R.E., Faaij A.P.C., 2010. Cost/benefit analysis of biomass energy supply options for rural smallholders in the semi-arid eastern part of Shinyanga region in Tanzania. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14(1): 148-165.

Worldwatch Institute, 2006. Biofuels for transportation: Global potential and implications for sustainable agriculture and energy in the 21st century; Extended summary, German Federal Ministry of Food Agriculture and Consumer Protection.

Xue J., Grift T.E., Hansena A.C., 2011. Effect of biodiesel on engine performances and emissions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15(2): 1098–1116.

Yang C.Y., Fang Z., Li B., Long Y.F., 2012. Review and prospects of *Jatropha* biodiesel industry in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16: 2178–2190.

Yin C., Pang X., Chen K., Gong R., Xu G., Wang X., 2012. The water adaptability of *Jatropha curcas* is modulated by soil nitrogen availability. *Biomass and Bioenergy* 47: 71-81.

Yong W.H., Ng Y.F., Tan S.N., Chew A.Y.L., 2010. Effect of fertilizer application on photosynthesis and oil yield of *Jatropha curcas* L., *Photosynthetica* 48 (2): 208-218.

Yusuf N., Kamarudin S.K., Yaakub Z., 2010. Overview on the current trends in biodiesel production. *Energy Conversion and Management* 52(7): 2741–2751.

Zhuang D., Jiang D., Liu L., Huang Y., 2011. Assessment of bioenergy potential on marginal land in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15: 1050–1056.

Referencias electrónicas

Biodiversidad Virtual Insectario. www.biodiversidadvirtual.org/insectarium. Septiembre 2013.

Fallot A., Palacios D., 2014. ¿Por qué se invierte en plantaciones de *Jatropha*? Respuestas desde Costa Rica. Hyper articles en ligne (<http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00933388>), Centre pour la Communication Scientifique Directe. Febrero 2014.

Rivas-Martínez S., 2004. Worldwide Bioclimatic Classification System (www.globalbioclimatics.org). Phytosociological Research Center, España. Enero 2013.

SSTTI-UA, 2012. Servicios Técnicos de Investigación de la Universidad de Alicante. www.sstti.ua.es. Noviembre 2012.

The American Phytopathological Society. www.apsnet.org. Enero 2014.

7.- Bibliografía

Van Peer A., 2010. Growing *Jatropha*. www.jatropha.pro. Diciembre 2013.

Referencias no citadas en el texto y empleadas para la determinación taxonómica y caracterización biológica y metabólica de la flora natural y arvense.

Acevedo-Rodriguez P., Strong M., 2005. Monocotyledons and gymnosperms of Puerto Rico and the Virgin Islands. Smithsonian Institution, Contributions from the United States National Herbarium Volume 52: 1-415, Department of Botany National Museum of Natural History Washington.

Bolòs O. de, Vigo J., 1984. Flora dels Països Catalans, Ed. Barcino, Barcelona, España.

Bolòs O. de, Vigo J., Masalles R., Ninot J., 2005. Flora. Manual dels Països Catalans, Pòrtic, Barcelona, España.

Catasús L.J., 2002. Las gramíneas de Cuba (vol. 2). Cavanillesia Altera, Madrid, España.

Cronquist A., 1981. An integrated system of classification of flowering plants. The New York Botanical Garden, Columbia University Press, New York, Estados Unidos.

Ehleringer J.R., Sage R.F., Flanagan L.B., Pearcy R.W., 1991. Climate change and the evolution of C₄ photosynthesis. Trends in Ecology & Evolution, Volume 6, Issue 3, 95-99.

Font Quer P., 2000. Diccionario de botánica. Península, Barcelona, España.

Fosberg R.F., Sachet M.H., Oliver R.L., 1993. Flora of Micronesia: Bignoniaceae-Rubiaceae. Smithsonian Institute Press, Washington DC, Estados Unidos.

Kew Royal Botanic Gardens, Neotropical Flowering Plant Families, Neotropikey. www.kew.org. Noviembre 2012.

Martin R., Chanty P., 2007. Weeds of upland crops in Cambodia. NSW Department of Primary Industries, State of New South Wales.

Milne Redhead E., Polhill R.M., 1970. Flora of Tropical East Africa. Gramineae. Whitefriars Press, Londres, Reino Unido.

Missouri Botanical Garden. www.missouribotanicalgarden.org. Mayo 2013.

The Families of Flowering Plants: Descriptions, Illustrations, Identification, and Information Retrieval. L. Watson and M. J. Dallwitz (1992 onwards). Versión: Diciembre 2000. <http://biodiversity.uno.edu/delta/>. Marzo 2013.

The New York Botanical Garden, The C. V. Starr Virtual Herbarium. www.nybg.org. Febrero 2013.

Tropicos, botanical information system at the Missouri Botanical Garden. www.tropicos.org/Home.aspx. Febrero 2013.

VVAA, 1986. Flora Ibérica: Plantas vasculares de la Península Ibérica e Islas Baleares. Real Jardín Botánico, Servicio de publicaciones del C.S.I.C., Madrid, España.

Webb D.A., Tutin T.G., Heywood V.H., Burges N.A., Valentine D.H., Walters S.M., (editores), 1968. Flora Europaea. Cambridge University Press, Londres, Reino Unido.

8.- ANEXOS.

8.- ANEXOS.

Tabla A.1.- Rendimiento (Kg/Ha) obtenido por cuadro y variedad.

Cuadro	n° combinación	Marco plantación (m2)	Abonado (Kg/Ha)	Escarda	Altura surco (cm)	Variedad	Rend. (Kg / Ha)
1	1	M1	A2	E1	S1	V1	233
1	1	M1	A2	E1	S1	V2	446
2	2	M2	A2	E1	S1	V1	192
2	2	M2	A2	E1	S1	V2	394
3	3	M1	A2	E2	S1	V1	180
3	3	M1	A2	E2	S1	V2	509
4	4	M2	A1	E2	S1	V1	234
4	4	M2	A1	E2	S1	V2	419
5	5	M2	A1	E1	S2	V1	232
5	5	M2	A1	E1	S2	V2	310
6	6	M1	A1	E1	S1	V1	320
6	6	M1	A1	E1	S1	V2	302
7	7	M1	A1	E1	S2	V1	142
7	7	M1	A1	E1	S2	V2	365
8	8	M2	A2	E1	S2	V1	206
8	8	M2	A2	E1	S2	V2	395
9	9	M2	A2	E2	S1	V1	160
9	9	M2	A2	E2	S1	V2	197
10	10	M1	A1	E2	S2	V1	128
10	10	M1	A1	E2	S2	V2	955
11	11	M1	A1	E2	S1	V1	100
11	11	M1	A1	E2	S1	V2	226
12	12	M1	A2	E1	S2	V1	159
12	12	M1	A2	E1	S2	V2	179
13	13	M1	A2	E2	S2	V1	247
13	13	M1	A2	E2	S2	V2	537
14	14	M2	A2	E2	S2	V1	193
14	14	M2	A2	E2	S2	V2	399
15	15	M2	A1	E2	S2	V1	118
15	15	M2	A1	E2	S2	V2	323
16	16	M2	A1	E1	S1	V1	15
16	16	M2	A1	E1	S1	V2	116
17	2	M2	A2	E1	S1	V1	53
17	2	M2	A2	E1	S1	V2	99
18	13	M1	A2	E2	S2	V1	185
18	13	M1	A2	E2	S2	V2	504
19	12	M1	A2	E1	S2	V1	24
19	12	M1	A2	E1	S2	V2	334
20	6	M1	A1	E1	S1	V1	84
20	6	M1	A1	E1	S1	V2	164
21	4	M2	A1	E2	S1	V1	134
21	4	M2	A1	E2	S1	V2	381
22	1	M1	A2	E1	S1	V1	87
22	1	M1	A2	E1	S1	V2	505
23	16	M2	A1	E1	S1	V1	24
23	16	M2	A1	E1	S1	V2	104
24	15	M2	A1	E2	S2	V1	134
24	15	M2	A1	E2	S2	V2	298

Tabla A.1 (cont. 1)

Cuadro	n° combinación	Marco plantación (m2)	Abonado (Kg/Ha)	Escarda	Altura surco (cm)	Variedad	Rend. (Kg / Ha)
25	9	M2	A2	E2	S1	V1	151
25	9	M2	A2	E2	S1	V2	208
26	8	M2	A2	E1	S2	V1	103
26	8	M2	A2	E1	S2	V2	247
27	11	M1	A1	E2	S1	V1	211
27	11	M1	A1	E2	S1	V2	310
28	3	M1	A2	E2	S1	V1	73
28	3	M1	A2	E2	S1	V2	507
29	14	M2	A2	E2	S2	V1	60
29	14	M2	A2	E2	S2	V2	380
30	10	M1	A1	E2	S2	V1	99
30	10	M1	A1	E2	S2	V2	432
31	7	M1	A1	E1	S2	V1	86
31	7	M1	A1	E1	S2	V2	404
32	5	M2	A1	E1	S2	V1	123
32	5	M2	A1	E1	S2	V2	485
33	16	M2	A1	E1	S1	V1	65
33	16	M2	A1	E1	S1	V2	253
34	6	M1	A1	E1	S1	V1	67
34	6	M1	A1	E1	S1	V2	363
35	7	M1	A1	E1	S2	V1	54
35	7	M1	A1	E1	S2	V2	169
36	1	M1	A2	E1	S1	V1	95
36	1	M1	A2	E1	S1	V2	269
37	15	M2	A1	E2	S2	V1	72
37	15	M2	A1	E2	S2	V2	385
38	9	M2	A2	E2	S1	V1	195
38	9	M2	A2	E2	S1	V2	553
39	5	M2	A1	E1	S2	V1	177
39	5	M2	A1	E1	S2	V2	342
40	12	M1	A2	E1	S2	V1	182
40	12	M1	A2	E1	S2	V2	566
41	14	M2	A2	E2	S2	V1	111
41	14	M2	A2	E2	S2	V2	585
42	11	M1	A1	E2	S1	V1	113
42	11	M1	A1	E2	S1	V2	359
43	3	M1	A2	E2	S1	V1	215
43	3	M1	A2	E2	S1	V2	487
44	2	M2	A2	E1	S1	V1	157
44	2	M2	A2	E1	S1	V2	140
45	10	M1	A1	E2	S2	V1	100
45	10	M1	A1	E2	S2	V2	506
46	13	M1	A2	E2	S2	V1	295
46	13	M1	A2	E2	S2	V2	878
47	8	M2	A2	E1	S2	V1	104
47	8	M2	A2	E1	S2	V2	349
48	4	M2	A1	E2	S1	V1	259
48	4	M2	A1	E2	S1	V2	251
49	16	M2	A1	E1	S1	V1	54
49	16	M2	A1	E1	S1	V2	382

Tabla A.1 (cont. 2)

Cuadro	n° combinación	Marco plantación (m2)	Abonado (Kg/Ha)	Escarda	Altura surco (cm)	Variedad	Rend. (Kg / Ha)
50	7	M1	A1	E1	S2	V1	150
50	7	M1	A1	E1	S2	V2	641
51	3	M1	A2	E2	S1	V1	307
51	3	M1	A2	E2	S1	V2	1043
52	2	M2	A2	E1	S1	V1	167
52	2	M2	A2	E1	S1	V2	711
53	13	M1	A2	E2	S2	V1	297
53	13	M1	A2	E2	S2	V2	1402
54	1	M1	A2	E1	S1	V1	149
54	1	M1	A2	E1	S1	V2	809
55	4	M2	A1	E2	S1	V1	260
55	4	M2	A1	E2	S1	V2	1042
56	15	M2	A1	E2	S2	V1	316
56	15	M2	A1	E2	S2	V2	616
57	9	M2	A2	E2	S1	V1	171
57	9	M2	A2	E2	S1	V2	391
58	12	M1	A2	E1	S2	V1	229
58	12	M1	A2	E1	S2	V2	726
59	8	M2	A2	E1	S2	V1	183
59	8	M2	A2	E1	S2	V2	435
60	14	M2	A2	E2	S2	V1	320
60	14	M2	A2	E2	S2	V2	558
61	10	M1	A1	E2	S2	V1	427
61	10	M1	A1	E2	S2	V2	917
62	5	M2	A1	E1	S2	V1	231
62	5	M2	A1	E1	S2	V2	702
63	6	M1	A1	E1	S1	V1	124
63	6	M1	A1	E1	S1	V2	355
64	11	M1	A1	E2	S1	V1	236
64	11	M1	A1	E2	S1	V2	362
65	4	M2	A1	E2	S1	V1	273
65	4	M2	A1	E2	S1	V2	453
66	10	M1	A1	E2	S2	V1	501
66	10	M1	A1	E2	S2	V2	595
67	7	M1	A1	E1	S2	V1	275
67	7	M1	A1	E1	S2	V2	565
68	12	M1	A2	E1	S2	V1	251
68	12	M1	A2	E1	S2	V2	726
69	1	M1	A2	E1	S1	V1	125
69	1	M1	A2	E1	S1	V2	591
70	9	M2	A2	E2	S1	V1	354
70	9	M2	A2	E2	S1	V2	603
71	6	M1	A1	E1	S1	V1	57
71	6	M1	A1	E1	S1	V2	378
72	15	M2	A1	E2	S2	V1	360
72	15	M2	A1	E2	S2	V2	987
73	16	M2	A1	E1	S1	V1	126
73	16	M2	A1	E1	S1	V2	482
74	2	M2	A2	E1	S1	V1	96
74	2	M2	A2	E1	S1	V2	182

Tabla A.1 (cont. 3)

Cuadro	n° combinación	Marco plantación (m2)	Abonado (Kg/Ha)	Escarda	Altura surco (cm)	Variedad	Rend. (Kg / Ha)
75	5	M2	A1	E1	S2	V1	139
75	5	M2	A1	E1	S2	V2	676
76	11	M1	A1	E2	S1	V1	302
76	11	M1	A1	E2	S1	V2	1064
77	14	M2	A2	E2	S2	V1	332
77	14	M2	A2	E2	S2	V2	667
78	13	M1	A2	E2	S2	V1	166
78	13	M1	A2	E2	S2	V2	552
79	3	M1	A2	E2	S1	V1	190
79	3	M1	A2	E2	S1	V2	524
80	8	M2	A2	E1	S2	V1	114
80	8	M2	A2	E1	S2	V2	235
81	9	M2	A2	E2	S1	V1	251
81	9	M2	A2	E2	S1	V2	679
82	14	M2	A2	E2	S2	V1	214
82	14	M2	A2	E2	S2	V2	698
83	15	M2	A1	E2	S2	V1	146
83	15	M2	A1	E2	S2	V2	571
84	11	M1	A1	E2	S1	V1	120
84	11	M1	A1	E2	S1	V2	350
85	2	M2	A2	E1	S1	V1	90
85	2	M2	A2	E1	S1	V2	249
86	3	M1	A2	E2	S1	V1	314
86	3	M1	A2	E2	S1	V2	585
87	7	M1	A1	E1	S2	V1	113
87	7	M1	A1	E1	S2	V2	524
88	1	M1	A2	E1	S1	V1	122
88	1	M1	A2	E1	S1	V2	321
89	16	M2	A1	E1	S1	V1	84
89	16	M2	A1	E1	S1	V2	268
90	4	M2	A1	E2	S1	V1	394
90	4	M2	A1	E2	S1	V2	705
91	12	M1	A2	E1	S2	V1	157
91	12	M1	A2	E1	S2	V2	156
92	10	M1	A1	E2	S2	V1	383
92	10	M1	A1	E2	S2	V2	711
93	5	M2	A1	E1	S2	V1	81
93	5	M2	A1	E1	S2	V2	315
94	8	M2	A2	E1	S2	V1	84
94	8	M2	A2	E1	S2	V2	211
95	13	M1	A2	E2	S2	V1	141
95	13	M1	A2	E2	S2	V2	686
96	6	M1	A1	E1	S1	V1	92
96	6	M1	A1	E1	S1	V2	506

Tabla A.2.- Principales especies de cobertura arbórea del bosque de El Cigal.

Nombre científico	Nombre común	I.S.
<i>Acacia macracantha</i> Humb. & Bonpl. ex Willd	Cambrón	III ^{3,28}
<i>Acacia scleroxyla</i> Tuss.	Candelón	I ^{0,60}
<i>Agave sp.</i>	Maguey	I ^{0,20}
<i>Bunchosia glandulosa</i> (Cav.) DC.	Cabrita	II ^{1,00}
<i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg.	Almácigo	I ^{3,00}
<i>Capparis cynophallophora</i> L.	Olivo	II ^{1,25}
<i>Capparis flexuosa</i> (L.) L.	Montaso	I ^{1,00}
<i>Colubrina elliptica</i> (Sw.) Briz. & Stern.	Palo amargo	I ^{3,25}
<i>Consolea moniliformis</i> (L.) A. Berger	Aplargata	II ^{1,00}
<i>Croton corylifolius</i> Lam.	Hueledor	II ^{1,33}
<i>Cylindropuntia caribea</i> (Britton & Rose) F.M. Knuth	Guasábara	I ^{0,20}
<i>Guaiacum officinale</i> L.	Guayacán	III ^{1,36}
<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	Guacima	I ^{0,60}
<i>Lysiloma latisiliqua</i> Benth.	Caracolí	I ^{1,00}
<i>Phyllostylon brasiliensis</i> Benth. & Hook.	Baitoa	I ^{1,00}
<i>Pilosocereus polygonus</i> (Lam.) Byles & G.D.Rowley	Cayuco	II ^{0,55}
<i>Prosopis juliflora</i> (Sw.) DC.	Bayahonda	V ^{4,26}
<i>Senna angustisiliqua</i> (Lam.) H.S.Irwin & Barneby	Carga agua	III ^{1,40}
<i>Senna atomaria</i> (L.) H.S.Irwin & Barneby	Palo de burro	III ^{1,33}
<i>Senna occidentalis</i> (L.) Link	Bruca prieta	I ^{1,00}

Tabla A.3.- Listado de especies muestreadas en El Cigal y determinadas taxonómicamente.

Nombre científico	Nombre común	Familia
<i>Acacia macracantha</i> Humb. & Bonpl. ex Willd	Cambrón	Fabáceas
<i>Acacia scleroxyla</i> Tuss.	Candelón	Fabáceas
<i>Acacia tortuosa</i> (L.) Willd.	Acacia	Fabáceas
<i>Achyranthes aspera</i> L.	Cadillo/Rabito de gato	Amarantáceas
<i>Agave sp.</i>	Maguey	Amarillidáceas
<i>Aloe sp.</i>	Savila	Liliáceas
<i>Alternanthera caracasana</i> Kunth.	Cadillo raniao	Amarantáceas
<i>Amaranthus crassipes</i> Schldl.	Bledo raniao	Amarantáceas
<i>Amaranthus sp.</i>	Bledo	Amarantáceas
<i>Amaranthus spinosus</i> L.	Bledo que pincha	Amarantáceas
<i>Amaranthus viridis</i> L.	Bledo	Amarantáceas
<i>Argemone mexicana</i> L.	Cardosantos	Papaveráceas
<i>Baccharis myrsinites</i> (Lam.) Pers.	Orégano cimarrón	Asteráceas
<i>Bidens cynapiifolia</i> Kunth.	Cadillito	Asteráceas
<i>Boerhavia erecta</i> L.	-	Nictagináceas
<i>Boerhavia scandens</i> L.	-	Nictagináceas
<i>Bouchea prismatica</i> (L.) Ktze.	-	Verbenáceas
<i>Bourreria sp.</i>	-	Boragináceas
<i>Bunchosia glandulosa</i> (Cav.) DC.	Cabrita	Malpigíáceas
<i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg.	Almácigo	Burseráceas
<i>Calotropis procera</i> (Aiton) Dryand.	Algodón de seda	Apocináceas
<i>Capparicordis crotonoides</i> (Kunth) Iltis & Cornejo	-	Caparáceas
<i>Capparis cynophallophora</i> L.	Olivo	Caparáceas
<i>Capparis flexuosa</i> (L.) L.	Montaso	Caparáceas

Tabla A.3 (cont. 1)

Nombre científico	Nombre común	Familia
<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn.	Ceiba	Bombacáceas
<i>Celosia argentea</i> L.	-	Amarantáceas
<i>Centrosema pubescens</i> Benth.	-	Fabáceas
<i>Chamaesyce berteroaana</i> (Balb. ex Spreng.) Millsp.	Marcasá, Malcasada	Euforbiáceas
<i>Chamaesyce glomerifera</i> Millsp.	Marcasá, Malcasada	Euforbiáceas
<i>Chloris</i> sp.	Saladilla	Poáceas
<i>Cissus trifoliata</i> (L.) L.	-	Vitáceas
<i>Cleome viscosa</i> L.	-	Caparáceas
<i>Coccoloba</i> sp.	Uva extranjera	Poligonáceas
<i>Colubrina elliptica</i> (Sw.) Briz. et Stern.	Palo amargo	Ramnáceas
<i>Commelina benghalensis</i> L.	-	Commelináceas
<i>Consolea moniliformis</i> (L.) A. Berger	Alpargata	Cactáceas
<i>Cordia microphylla</i> Roem. et Schult.	-	Boragináceas
<i>Croton corylifolius</i> Lam.	Hueledor	Euforbiáceas
<i>Croton lobatus</i> L.	-	Euforbiáceas
<i>Croton ovalifolius</i> Vahl.	Barraquito / Escoba	Euforbiáceas
<i>Croton</i> sp.	-	Euforbiáceas
<i>Cryptostegia grandiflora</i> (Roxb.) R.Br.	Bejuco de leche	Asclepiadáceas
<i>Cucumis anguria</i> L.	Pepino cimarrón	Cucurbitáceas
<i>Cuscuta</i> sp.	Spaguetthi, Bejuco buena tarde	Convolvuláceas
<i>Cylindropuntia caribea</i> (Britton & Rose) F.M. Knuth	Guasábara	Cactáceas
<i>Cyperus rotundus</i> L.	Coquito	Ciperáceas
<i>Datura innoxia</i> Mill.	Campana cimarrona	Solanáceas
<i>Datura metel</i> L.	Campana cimarrona	Solanáceas
<i>Delonix Regia</i> (Bojer) Raf.	Framboián	Fabáceas
<i>Eleusine indica</i> (L.) Gaertn.	Pata de cotorra	Poáceas
<i>Eleutheranthera ruderalis</i> (Sw.) Sch. Bip.	-	Asteráceas
<i>Eragrostis barrelieri</i> Dav.	Tripa de pollo	Poáceas
<i>Euphorbia heterophylla</i> L.	Mata de leche	Euforbiáceas
<i>Euphorbia lactea</i> Haw.	Raqueta	Euforbiáceas
<i>Euphorbia</i> sp.	Pipaguana	Euforbiáceas
<i>Euphorbia tithymaloides</i> L.	-	Euforbiáceas
<i>Furcraea hexapetala</i> (Jacq.) Urb.	Cabuya	Amarillidáceas
<i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Walp.	Piñón cubano	Fabáceas
<i>Guaiacum officinale</i> L.	Guayacán	Zigofiláceas
<i>Guaiacum sanctum</i> L.	Guaiacancillo, Vera	Zigofiláceas
<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	Guacima	Esterculiáceas
<i>Herissantia crispa</i> (L.) Brizicki	Friega platos	Malváceas
<i>Hura Crepitans</i> L.	Jabilla	Euforbiáceas
<i>Indigofera</i> sp.	-	Fabáceas
<i>Ipomoea indica</i> (Burm. f.) Merr.	Campanitas	Convolvuláceas
<i>Ipomoea</i> sp.	Batatilla	Convolvuláceas
<i>Jatropha gossypifolia</i> L.	Tua-Tua	Euforbiáceas
<i>Kalanchoë daigremontiana</i> Hamet & Perrier	Brujo criollo, Malpadre	Crasuláceas
<i>Kalanchoe integra</i> (Medik.) Kuntze	Brujo	Crasuláceas
<i>Lantana camara</i> L.	Orégano cimarrón, Doña Sanita, Morita	Verbenáceas
<i>Leonotis nepetifolia</i> (L.) R. Br.	Cadillo molinillo	Labiadas
<i>Lepidium virginicum</i> L.	-	Crucíferas
<i>Leptocereus</i> sp.	Cayuquito fino	Cactáceas
<i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) De Wit	Lino criollo	Fabáceas
<i>Lippia strigulosa</i> Mart. & Gal.	-	Verbenáceas
<i>Macfadyena unguis-cati</i> (L.) A. Gentry	Bejuco abrazapalo	Bignoniáceas
<i>Malvastrum corchorifolium</i> (Desr.) Britton ex Small	-	Malváceas
<i>Mammillaria prolifera</i> (Mill.) Haw.	Bombillito	Cactáceas
<i>Martynia annua</i> L.	Uña de gato	Martiniáceas
<i>Matelea maritima</i> (Jacq.) Woods.	Guauaba de perro	Asclepiadáceas
<i>Melia azadirachta</i> L.	Neem	Meliáceas
<i>Melochia pyramidata</i> L.	-	Esterculiáceas
<i>Melochia tomentosa</i> L.	-	Esterculiáceas
<i>Melocattus communis</i> (Aiton) Link & Otto	Melón/Piña cimarrona	Cactáceas
<i>Mercurialis annua</i> L.	-	Euforbiáceas
<i>Metopium</i> sp.	-	Anacardiáceas

Tabla A.3 (cont. 2)

Nombre científico	Nombre común	Familia
<i>Miconia sp.</i>	-	Melastomatáceas
<i>Mikania sp.</i>	Bejuco de indios	Asteráceas
<i>Mimosa latisiliqua</i> L.	Caracoli	Fabáceas
<i>Momordica charantia</i> L.	Sorosi	Cucurbitáceas
<i>Ocimum sanctum</i> L.	Canelilla-albahaca	Labiadas
<i>Panicum maximum</i> Jacq.	Yerba guinea	Poáceas
<i>Parthenium hysterophorus</i> L.	Bruca amarga	Asteráceas
<i>Pectis linifolia</i> L.	-	Asteráceas
<i>Phenax sp.</i>	-	Urticáceas
<i>Phoradendron mucronatum</i> (DC.) Krug. et Urb.	Fruta de culebra	Viscáceas
<i>Phyllostylon brasiliensis</i> Benth. & Hook.	Baitoa	Ulmáceas
<i>Physalis pubescens</i> L.	Topi-topi	Solanáceas
<i>Pilosocereus polygonus</i> (Lam.) Byles & G.D. Rowley	Cayuco	Cactáceas
<i>Pisonia albida</i> (Heim.) Britt. ex Standl.	Uña de gato	Nictagináceas
<i>Plantago major</i> L.	Llantén	Plantagináceas
<i>Plectranthus amboinicus</i> (Lour.) Spreng.	Orégano poleo	Labiadas
<i>Portulaca oleracea</i> L.	Verdolaga	Portulacáceas
<i>Portulaca rubricaulis</i> Kunth	Verdolaga	Portulacáceas
<i>Priva lappulacea</i> (L.) Pers.	Pega-pega	Verbenáceas
<i>Prosopis juliflora</i> (Sw.) DC.	Bayahonda	Fabáceas
<i>Rhynchelytrum repens</i> (Willd.) Hubb	-	Poáceas
<i>Ricinus communis</i> L.	Higuera	Euforbiáceas
<i>Rivina humilis</i> L.	-	Fitolacáceas
<i>Ruellia tuberosa</i> L.	Cricrá	Acantáceas
<i>Rynchosia minima</i> (L.) DC.	Frijolito	Fabáceas
<i>Scolosanthus subsessilis</i> Alain.	-	Rubiáceas
<i>Scoparia sp.</i>	-	Escrofulariáceas
<i>Senna angustisiliqua</i> (Lam.) H.S.Irwin & Barneby	Carga agua, Palo de agua	Fabáceas
<i>Senna atomaria</i> (L.) H.S.Irwin & Barneby	Palo de burro	Fabáceas
<i>Senna occidentalis</i> (L.) Link	Bruca prieta	Fabáceas
<i>Senna sp.</i>	Libertad	Fabáceas
<i>Setaria gemiculata</i> P. Beauv.	Arrocillo	Poáceas
<i>Sida acuta</i> Burm.f.	-	Malváceas
<i>Sida ciliaris</i> L.	-	Malváceas
<i>Sida glabra</i> Mill.	-	Malváceas
<i>Solanum sp.</i>	-	Solanáceas
<i>Solanum sp.</i>	Berenjena cimarrona	Solanáceas
<i>Spermacece prostrata</i> Aubl.	Juana la blanca	Rubiáceas
<i>Stigmaphyllon sp.</i>	-	Malpigiáceas
<i>Strachytarpheta sp.</i>	-	Verbenáceas
<i>Tillandsia fasciculata</i> Sw.	Papagallo	Bromeliáceas
<i>Tillandsia sp.</i>	Papagallo	Bromeliáceas
<i>Tillandsia sp.</i>	Tinajo	Bromeliáceas
<i>Tillandsia usneoides</i> L.	Guajaca	Bromeliáceas
<i>Tragia volubilis</i> L.	Pica-pica, Pringamoza	Euforbiáceas
<i>Tragus berteronianus</i> Schult.	-	Poáceas
<i>Tridax procumbens</i> L.	-	Asteráceas
<i>Triopteris sp.</i>	-	Malpigiáceas
<i>Vinca rosea</i> L.	-	Apocináceas

8.- Anexos

Tabla A.4.- Ass. *Amaranthus viridis* – *Portulaca rubricaulis* (nova).

Pendiente media (%)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Cobertura veg. (%)	70	80	80	85	85	90	75	70	95	95	85	85	85	85	85	75
Nº orden	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Nº inventario	10	35	38	41	44	58	76	26	55	56	60	62	63	64	67	68
Características territoriales de la asociación:																
<i>Portulaca rubricaulis</i>	2	2		1		2	1	+	3	2	2	2				3
<i>Amaranthus viridis</i>	1	2	3	2	3	2	1		2	2		+			1	
Características de unidades superiores:																
<i>Malvastrum corchorifolium</i>	3	3	2	3	2	2	2	4	3	2	2	2	2	2	3	2
<i>Eragrostis barrelieri</i>	3	3	3	3	2	2	3	2	2	2	3	2	4	2	2	2
<i>Boerhavia erecta</i>	1	+		2	2	3	2	2	2	3	2	4	2	2	2	4
<i>Momordica charantia</i>											+	2		+		
<i>Bidens cynapiifolia</i>					2			1								
<i>Cucumis anguria</i>																1
<i>Jatropha gossypifolia</i>							1	1	+				1			
<i>Senna occidentalis</i>									+							
Compañeras:																
<i>Acacia macracantha</i>	1	1	+	1	1	1		+				1	+	+	1	+
<i>Prosopis juliflora</i>				1			1	+						+		
<i>Kalanchoe daigremontiana</i>	+												+			
<i>Senna atomaria</i>			+				1									+
<i>Senna angustisiliqua</i>													+			

*I.S. (índices sintéticos). Además: *Argemone mexicana* L. en 72: +. *Chamaesyce berteroaana* (Balb. ex Spreng.) Millsp. en 74:+. *Cryptostegia grandiflora* Roxb. ex R.Br. en 56: +. *Euphorbia heterophylla* L. en 67:2. Guazuma ulmifolia Lam. En 82: +. *Lantana camara* L. en 75: +. *Parthenium hysterophorus* L. en 58:2.

Tabla A.5.- Ass. *Bidens cynapiifolia* – *Boerhavia erecta* (nova).

Pendiente media (%)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Cobertura veg. (%)	70	80	65	65	85	90	80	85	65	85	70	65	70	60	80	60
Nº orden	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Nº inventario	1	9	15	16	40	91	33	39	4	6	7	8	11	12	14	19
Características territoriales de la asociación:																
<i>Boerhavia erecta</i>									1	2	1		1		1	
<i>Bidens cynapiifolia</i>	+	1	1		+		+			+				1	+	
Características de unidades superiores:																
<i>Eragrostis barrelieri</i>	3	3	4	4	3	4	3	3	5	3	4	4	4	3	3	4
<i>Malvastrum corchorifolium</i>	3	3	3	2	2	3	3	3		3	3	3	3	3	3	3
<i>Amaranthus viridis</i>				2	2	2		2	2	+						
<i>Momordica charantia</i>								1			+					+
<i>Portulaca rubricaulis</i>	2	2			1	1	1									
<i>Parthenium hysterophorus</i>																
<i>Ruellia tuberosa</i>								+		1						
<i>Euphorbia heterophylla</i>										+						
<i>Jatropha gossypifolia</i>			+								+					
<i>Croton ovalifolius</i>									+	+						
<i>Lantana camara</i>																
Compañeras:																
<i>Acacia macracantha</i>	+			+	+	+	1	1	1	+		1	1	1		1
<i>Senna atomaria</i>									+	+		+	+	+	+	+
<i>Prosopis juliflora</i>	+			+	+	+	+				+	1				1
<i>Senna angustisiliqua</i>								+	+	+	+	1	+			
<i>Kalanchoe daigremontiana</i>	1								1	+						+
<i>Bunchosia glandulosa</i>											+				+	
<i>Cryptostegia grandiflora</i>									+						+	

Tabla A.6.- Ass. *Bidens cynapiifolia* – *Jatropha gossypifolia* (nova).

Pendiente media (%)	10	10	10	10	10	10	10	9,5	10	10	10	10	9,5	9,5	9,5		
Cobertura veg. (%)	65	60	65	60	70	70	70	75	65	65	65	80	75	75	90		
Nº orden	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
Nº inventario	13	18	20	22	25	2	3	71	5	17	23	31	78	88	94		
																	I.S.
<u>Características territoriales de la asociación:</u>																	
<i>Jatropha gossypifolia</i>	2	2		+	1	2	2			1		1	2	3	2	IV	1,65
<i>Bidens cynapiifolia</i>					+		2	2	1			1	+	1	+	III	0,95
<u>Características de unidades superiores:</u>																	
<i>Malvastrum corchorifolium</i>	3	2	4	4	4	4	4	4	4	2	4	4	2	2	2	V	3,27
<i>Eragrostis barrelieri</i>	2	3	2	2	2	2	2	3	2	4	3	3	3	2	4	V	2,60
<i>Boerhavia erecta</i>						+			2	+			2	2	2	II	1,40
<i>Amaranthus viridis</i>	1	2	2	1	1					+						II	1,20
<u>Compañeras:</u>																	
<i>Acacia macracantha</i>	1			+					1		1	+	+	+	1	III	0,60
<i>Prosopis juliflora</i>							1		1	1				+		II	0,68
<i>Senna atomaria</i>			1			1	1	+	+							II	0,68
<i>Kalanchoe daigremontiana</i>	2	2														I	2,00

* I.S. (índices sintéticos). Además: *Argemone mexicana* L. en 22: +. *Bunchosia glandulosa* (Cav.) DC. en 94: +. *Chamaesyce berteroa* (Balb. ex Spreng.) Millsp. en 5: +. *Ruellia tuberosa* L. en 3: 2.

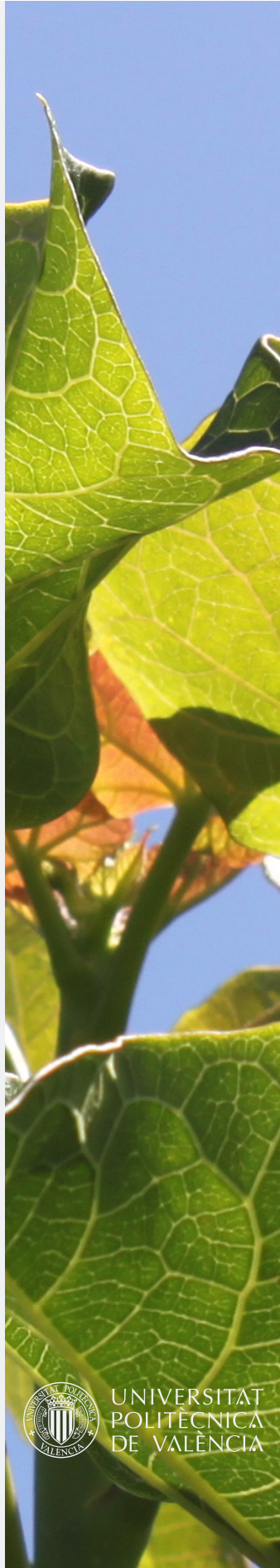
Tabla A.7.- Ass. *Amaranthus viridis* – *Momordica charantia* (nova).

Pendiente media (%)	10	9,5	9,5	9,5	10	9,5	9,5	9,5	9,5								
Cobertura veg. (%)	85	95	95	90	85	90	95	90	95								
Nº orden	1	2	3	4	5	6	7	8	9								
Nº inventario	46	52	54	57	45	50	51	49	53								
																	I.S.
<u>Características territoriales de la asociación:</u>																	
<i>Amaranthus viridis</i>	4	4	3	2	4	2	2	2	3						V	2,89	
<i>Momordica charantia</i>		+	+	+	1	+			+				2		IV	0,57	
<u>Características de unidades superiores:</u>																	
<i>Boerhavia erecta</i>	2	2	3	3			4	3	3	3					V	2,88	
<i>Eragrostis barrelieri</i>	2	2	1	2	1	2	2	2	2				2		V	1,75	
<i>Portulaca rubricaulis</i>	2		1	2	2	2				2					IV	1,83	
<i>Malvastrum corchorifolium</i>	2	1	2	1											III	1,50	
<i>Amaranthus crassipes</i>									2	2	2				II	2,00	
<i>Jatropha gossypifolia</i>				1	1								+		II	0,73	
<u>Compañeras</u>																	
<i>Acacia macracantha</i>					1	+	+		+	+					III	0,36	

*I.S. (índices sintéticos). Además: *Chloris* sp. en 49: +. *Croton ovalifolius* Vahl. en 45: I. *Senna occidentalis* (L.) Link en 52: +.



El Cigual, 2010.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA