

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 (finales Marzo 2010). b) Estado de las plántulas previo al trasplante (finales Mayo 2010).	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 (mm) efectiva (P_{ef}) frente a precipitación (P) en la parcela experimental.	72
Fig. 4.2.- Diagrama bioclimático de la parcela experimental en 2011.	74
Fig. 4.3.- Diagrama ombrotérmico de Gaussen 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 (°C) entre Padre Las Casas y la parcela experimental (El Cigual).	77
Fig. 4.7.- Comparativa de precipitaciones (mm) 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 (cm) 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). [Longitud de la referencia: 30 cm]	84
Fig. 4.13.- Altura (cm) de la plantación para el periodo Sep. 2010 – Dic. 2011.	86
Fig. 4.14.- Altura de la plantación (cm) a los 4, 11 y 15 meses de edad 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 (g) durante el proceso de secado.	90
Fig. 4.19.- Evolución del peso del pericarpio (g) durante el proceso de secado.	90
Fig. 4.20.- Peso de 40 semillas (g) cosechadas en Julio (n=6), Septiembre (n=12) y Noviembre 2011 (n=6).	92
Fig. 4.21.- Peso de 40 semillas (g) obtenido para los años 2011 (n=24) y 2012 (n=6).	93
Fig. 4.22.- Efectos principales para rendimiento (Kg/Ha).	95
Fig. 4.23.- Rendimiento (Kg/Ha) registrado para cada variedad a lo largo un periodo anual de cultivo.	97
Fig. 4.24.- Resultados del ANOVA para el rendimiento de semilla (Kg/Ha) 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 (Kg/Ha) 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 (media y error estándar) obtenidos para el factor abonado en el ANOVA.	113
Fig. 4.30.- Representación gráfica de resultados (media y error estándar) obtenidos para el factor escarda en el ANOVA.	114
Fig. 4.31.- Representación gráfica de resultados (media y error estándar) obtenidos para el factor marco de plantación en el ANOVA.	114
Fig. 4.32.- Representación gráfica de resultados (media y error estándar) obtenidos para el factor surco en el ANOVA.	115
Fig. 4.33.- Resultados del ANOVA para el rendimiento de semilla (Kg/Ha) basado en la altura de surco.	115
Fig. 4.34.- Resultados del ANOVA para el rendimiento de semilla (Kg/Ha) en función del marco de plantación.	116
Fig. 4.35.- Resultados del ANOVA para el rendimiento de semilla (Kg/Ha) basado en la interacción escarda x variedad.	116
Fig. 4.36.- Gráfico de la interacción “escarda x variedad” para la variable rendimiento (Kg/Ha) con el intervalo LSD	117
Fig. 4.37.- Resultados del ANOVA para el rendimiento de semilla (Kg/Ha) basado en el abonado.	117
Fig. 4.38.- Rendimiento (Kg/Ha) 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 (Kg/Ha) 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™ 2055.	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 propuesto por USDA.	72
Tabla 4.3.- Cálculo de la ETP por el método Thornthwaite.	73
Tabla 4.4.- Cálculo de la ET_0 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 formadas (n=120).	83
Tabla 4.9.- Longitud de raíces (cm) registrada para cada tratamiento (n=40).	83
Tabla 4.10.- Longitud de raíces (cm) por tratamiento y variedad (n=20).	84
Tabla 4.11.- Evolución del peso de semilla y pericarpo (g) durante el proceso de secado.	90

Tabla 4.12.- Tamaño y peso del fruto, y peso del pericarpo y semillas 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 (\bar{x} en Kg/Ha) para cada nivel y factor.	94
Tabla 4.15.- Rendimiento (Kg/Ha) por tratamiento.	96
Tabla 4.16.- Rendimientos (Kg/Ha) 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 (las columnas se refieren a los inventarios y las filas a las especies).	112
Tabla 4.20.- Valores medios de los abonados (100 y 150 Kg/Ha) correspondientes a los cuadros donde está presente cada asociación.	113
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.	113
Tabla 4.22.- Valores medios de las densidades de plantación (7,5 m ² [=2,5x3 m] y 9 m ² [=3x3 m]) correspondientes a los cuadros donde está presente cada asociación.	114
Tabla 4.23.- Valores medios de la formación de surcos (0 y 30 cm) correspondiente a los cuadros donde está presente cada asociación.	115
Tabla 4.24.- Rendimiento (Kg/Ha) 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 (ambas n=18) del cultivo experimental y planta naturalizada (n=9).	122
Tabla 4.26.- Porcentaje de carbono y nitrógeno en hojas, tallos y raíces (n=15).	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 (g) de plantas muestreadas al año y medio de edad en la plantación experimental (n=4).	125
Tabla 4.30.- Resultados de los parámetros determinados en el análisis inmediato (n=30).	127
Tabla 5.1.- Rendimientos (Kg/Ha) de semilla en función de la edad de la plantación.	131
Tabla A.1.- Rendimiento (Kg/Ha) 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