



PLAN NACIONAL DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA, DESARROLLO E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA (2004-2008)

Proyecto Singular Estratégico “Desarrollo, demostración y evaluación de la producción de energía en España a partir de la biomasa de cultivos energéticos” (PSE-cultivos energéticos)

SUBPROYECTO 01

Evaluación de la producción potencial de biomasa mediante cultivos energéticos, en las diversas Comarcas Agrícolas de las Comunidades de España.

INFORME TÉCNICO ANUAL

Periodo: 1 de Enero a 31 de Diciembre de 2007

Madrid, Julio de 2008

Subproyecto número: 01

Título: Evaluación de la producción potencial de biomasa mediante cultivos energéticos, en las diversas Comarcas Agrícolas de las Comunidades de España.

Entidad responsable del subproyecto: Universidad politécnica de Madrid (UPM)

Participante: Grupo de Agroenergética de la UPM

Informe técnico correspondiente al periodo: 1 Enero a 31 Diciembre 2007

INDICE

1. RESUMEN	4
2. OBJETIVOS DEL SUBPROYECTO EN 2007	5
3. MATERIAL Y MÉTODOS	5
3.1. MONOGRAFÍAS SOBRE CULTIVOS ENERGÉTICOS NO CONVENCIONALES	5
3.2. FUNCIÓN DE PRODUCCIÓN DE BIOMASA	7
4.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	18
4.1. MONOGRAFÍAS SOBRE CULTIVOS ENERGÉTICOS	18
4.2. FUNCIÓN DE PRODUCCIÓN DE BIOMASA	18
4.3. BASE DE DATOS DE LAS COMARCAS AGRARIAS	21
4.4. ZONIFICACIÓN.....	21
5.- CONCLUSIONES.....	23
6.- GRADO DE CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS PREVISTOS E IDENTIFICACIÓN DE DESVIACIONES	23
<u>ANEXO I: EVOLUCIÓN DEL TRABAJO REALIZADO EN LAS DISTINTAS COMARCAS AGRARIAS.....</u>	<u>24</u>
<u>ANEXO II: ESTIMACIÓN DE LA SUPERFICIE POTENCIAL DESTINADA A LOS CULTIVOS ENERGÉTICOS EN FUNCIÓN DE CUATRO ESCENARIOS.</u>	<u>25</u>

1. Resumen

En el presente subproyecto se pretende evaluar la producción potencial de biomasa en las diferentes Comarcas Agrarias de España.

Se ha realizado la recopilación bibliográfica y se han realizado los correspondientes manuscritos de los siguientes cultivos energéticos no convencionales: centeno (*Secale cereale*), triticale (\times *Triticosecale*), caña común (*Arundo donax*), “switchgrass” (*Panicum virgatum*), miscanto (*Miscanthus x giganteus*), cardo (*Cynara cardunculus*), patata (*Helianthus tuberosus*), sorgo azucarero (*Sorghum bicolor*). La recopilación bibliográfica realizada abarca los siguientes temas: origen y distribución de la especie, descripción botánica, agroecología, agronomía del cultivo, mecanización de la cosecha, productividad en biomasa y su variabilidad, aplicaciones de la biomasa, aspectos económicos y aspectos medioambientales.

Se han estudiado varias funciones de producción de biomasa de tipo polinómico y semilogarítmico referidas al cardo en condiciones de secano. Los resultados para rendimientos bajos no eran los esperados por lo que se decidió elaborar otra función a partir del índice de Turc, índice de potencialidad agrícola que supone una simplificación de los parámetros que determinan el rendimiento. Para ello, se han evaluado los datos de diferentes rendimientos experimentales de cardo con un factor elaborado a partir del índice Turc y la precipitación anual a diferentes grados de ponderación y de normalización. En base a estos estudios se ha obtenido una función de producción logarítmica que proporciona para España valores de rendimiento satisfactorios incluso a valores bajos de rendimiento del cultivo de cardo y con un error relativo medio inferior al 4,6%.

La fórmula obtenida resultante es la siguiente:

$$y' = 14,69 * \text{Ln}[(T+2P/3)] + 16.381$$

siendo,

y' = rendimiento teórico en t/ha de materia seca.

T = índice de Turc normalizado sobre un valor de 10.97

P = precipitación anual normalizada sobre un valor de 470,8 mm.

Se ha completado la evaluación de la distribución de la superficie de las diferentes Comarcas Agrarias de las Comunidades Autónomas de Galicia, Islas Baleares y Extremadura en base a las tierras de cultivo, y restantes superficies. Para la evaluación de la superficie potencial que se podría dedicar a la implantación de cultivos energéticos se han tenido en cuenta las tierras de secano y regadío y dentro de éstas, las dedicadas a grandes cultivos herbáceos (cereales y girasol) y las tierras de barbecho. Todo el conjunto de datos recopilados se está utilizando para producir una “base de datos” manejable mediante un SIG, que permita la obtención de planos y el acceso fácil a los datos de cualquier zona de la geografía española a nivel de los Municipios y de las Comarcas Agrarias.

Se ha comenzado la zonificación de las diferentes Comarcas Agrarias para determinar en cada una de ellas la aptitud para la producción de biomasa lignocelulósica. Dado que todavía no se tienen datos experimentales sobre la productividad de los principales cultivos potenciales, en un principio se ha realizado en base al cultivo de cardo en condiciones de secano. Para la elaboración de esta actividad se ha recopilado información cartográfica digital (mapas de edafología, usos del suelo, etc.), que junto con los datos de producción experimental proporcionados por la función

de producción elaborada en la Actividad 2, se determinan las zonas con aptitud potencial de producción de cardo y su productividad potencial para cada Comarca Agraria.

2. Objetivos del subproyecto en 2007

El objetivo principal del subproyecto es determinar el potencial de las diversas Comarcas Agrarias de España para producir biomasa utilizable con fines energéticos. Se han tomado como unidades básicas de trabajo las Comarcas Agrarias, ya que la extensión superficial de éstas suele ser adecuada para que los costes del transporte de la biomasa hasta los centros de transformación tengan poca incidencia relativa en el coste final del producto transformado (biocombustible o biocarburante). De entre las diferentes categorías de suelo existentes en cada comarca agraria solamente se van a considerar en este trabajo las tierras de secano, ya que son las más abundantes, las que menos competencia pueden tener con otros cultivos tradicionales y la premisa general de trabajar con cultivos de bajos inputs. Solamente en casos muy justificados y en los que no hubiera una alternativa clara con cultivos tradicionales se podría pensar en el uso de regadíos para producir biomasa lignocelulósica. Como modelo de cultivo energético se ha considerado el cardo (*Cynara cardunculus*) debido a que es el cultivo del que se tienen más datos para su cultivo en condiciones de secano. Para ello se pretende evaluar la producción potencial de biomasa mediante cultivo de cardo en cada una de las Comarca Agrarias, teniendo en cuenta sus características edafoclimáticas y utilizando funciones de producción para los cultivos, en base a los datos agroclimáticos.

De acuerdo con la Memoria Técnica del Subproyecto, las actividades a desarrollar durante 2007 fueron las siguientes:

- Actividad 1. “Monografías sobre cultivos energéticos”
- Actividad 2. “Función de producción de biomasa”
- Actividad 3. “Base de datos de las Comarcas Agrarias”
- Actividad 4. “Zonificación”

3. Material y métodos

3.1. Monografías sobre cultivos energéticos no convencionales

Se ha realizado la recopilación bibliográfica de diversos cultivos energéticos no convencionales y se han realizado los correspondientes manuscritos de los siguientes cultivos:

Aunque la lista de cultivos seleccionados está abierta, en principio se han considerado los siguientes cultivos herbáceos:

- Centeno (*Secale cereale*)
- Triticale (*x Triticosecale*)
- Caña común (*Arundo donax*)
- “Switchgrass” (*Panicum virgatum*)
- Miscanto (*Miscanthus x giganteus*)
- Cardo (*Cynara cardunculus*)
- Patata (*Helianthus tuberosus*)

- Sorgo azucarero (*Sorghum bicolor*)

La recopilación bibliográfica realizada para la descripción de cada uno de los cultivos se ha efectuado en base a los siguientes temas:

- Origen y distribución de la especie
- Descripción botánica (sistemática, genética, morfología, ciclo de desarrollo)
- Agroecología (requerimientos en suelo y clima)
- Agronomía del cultivo (labores, abonado requerido, plagas y enfermedades)
- Estudio especial sobre la mecanización de la cosecha
- Productividad en biomasa y su variabilidad, con detalle de la proporción de las diversas fracciones (en su caso)
- Aplicaciones de la biomasa
- Estudio económico (Estimación de los costes de cultivo, y de producción de la biomasa a pie de parcela, rentabilidad comparada frente a los cultivos tradicionales de posible sustitución)

En paralelo con la descripción monográfica de los cultivos energéticos, se ha completado y finalizado el trabajo específico sobre consumos energéticos y previsiones de costes de las operaciones agrícolas, iniciado en 2006. El trabajo ha sido dirigido por el Profesor de maquinaria Agrícola de la ETSIA (UPM) D. Luis Márquez. y se ha realizado teniendo en cuenta

a) Niveles de aprovechamiento de la potencia del tractor

Se han considerado 3 niveles. 25, 50 y 75 % en relación a la potencia nominal del motor.

b) Potencia nominal de los tractores que se empleen

- Pequeña, con 90 CV (66 kW)
- Mediana, con 120 CV (88 kW)
- Grande, 150 CV (110 kW)
- Muy grande, con 180 CV (132 kW)

En relación a las operaciones de cultivo consideradas se han establecido tres grupos

A) Operaciones directamente influenciadas por la naturaleza del suelo

- Arado de vertedera
- Arado chisel
- Subsolador
- Grada de discos
- Cultivador de brazos flexibles
- Rotavator (motocultivador)
- Grada accionada por la toma de fuerza

B) Operaciones poco influenciadas por la naturaleza del suelo

- Abonadora centrífuga arrastrada o suspendida
- Sembradora a chorrillo
- Sembradora a chorrillo para siembra directa
- Sembradora monograno
- Plantadora de tubérculos arrastrada
- Pulverizador de barras
- Cuba para la distribución de purín

- Remolque esparcidor de estiércol
- C) Operaciones de recolección
- Segadora de tambores
 - Rastrillo hilerador
 - Rotoempacadora de cámara fija
 - Macroempacadora (pacas prismáticas de alta densidad)
 - Remolque autocargador de forraje hilerado
 - Picadora-cargadora de forraje arrastrada
 - Cosechadora de patatas arrastrada

3.2. Función de producción de biomasa

Este trabajo se ha concretado para la producción de biomasa de cardo en función de diversos parámetros meteorológicos y criterios restrictivos de índole agronómica.

Tras aplicar la ecuación [1] de tipo polinómico detallada en el informe del año anterior, en diferentes zonas de la geografía española y compararla con los datos experimentales de cardo recogidos en distintas experiencias, se observó que según esta función, a valores bajos de R (producción de cereales y girasol normalizados) y P (pluviometría normalizada) el rendimiento era excesivamente alto, motivados principalmente por un término independiente de 9,91.

$$Y = 9,91 + 0,323 * R + 2,364 * RP + 3,387 * P \quad [1]$$

En función de estos resultados, se comenzó a estudiar otra función que pudiera solventar esta desviación, además de solucionar el problema que suponía recopilar todos los datos de rendimientos de los cereales y el girasol a nivel comarcal. Para ello, se estudió el índice de potencialidad agrícola de Turc (L. Turc, 1967), según el cual se demuestra que hay una correlación entre determinadas variables climáticas y la producción de una especie sobre un suelo bien labrado y fertilizado.

El índice de Turc permite evaluar la potencialidad agrícola de una zona mediante una relación entre las producciones anuales principalmente las correspondientes a plantas forrajeras y los datos climáticos. La producción se mide en materia seca e incluye todas las partes aéreas, y, eventualmente, los tubérculos. Supone que se utilizan las tecnologías más avanzadas para la obtención de los mejores rendimientos en los que se refiere a labores, abonado, lucha contra plagas y enfermedades, elección de variedades y cuidados de los cultivos. En consecuencia, este índice no tendrá un periodo de validez muy largo, siendo necesarios ciertos ajustes cada cierto tiempo.

Es un índice anual que se calcula sumando los índices mensuales, siendo cada uno de éstos el producto de un factor heliotérmico (HT) y de un factor de aridez (Fs).

Los datos climáticos básicos necesarios para el cálculo del índice son las temperaturas medias mensuales, temperaturas medias de mínimas, horas de sol despejado y precipitaciones medias mensuales.

$$\text{Índice de Turc} = HT * Fs$$

Este índice es sencillo de utilizar ya que disponiendo de una serie de parámetros climáticos (precipitación, temperatura, humedad y radiación), y de la producción experimental en un área determinada se obtiene una función que relaciona el índice de Turc con el rendimiento experimental de un determinado cultivo.

$$\text{Rendimiento}_{\text{TURC}} = \text{Relación}_{\text{TURC}} * \text{Índice de Turc}$$

siendo,

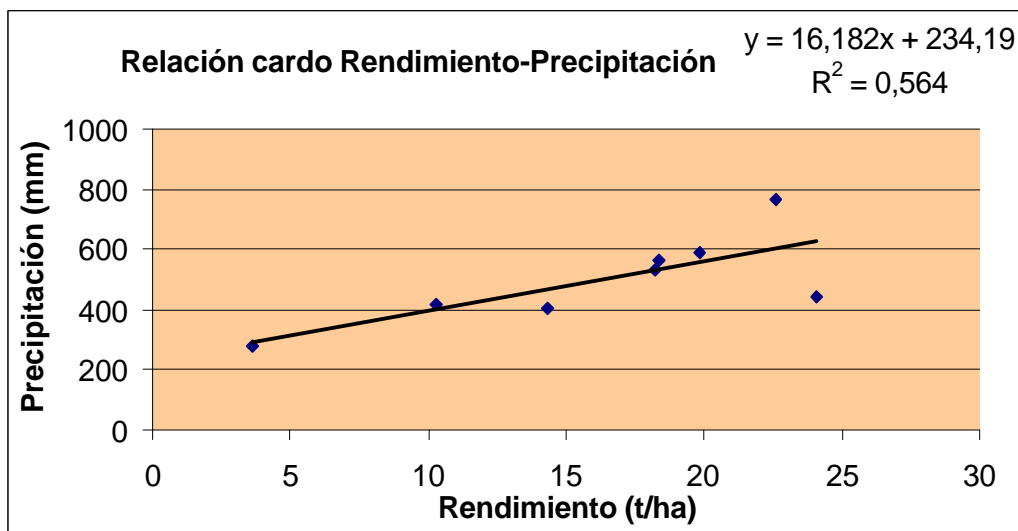
$\text{Rendimiento}_{\text{TURC}}$ = es el rendimiento estimado según el método Turc.

$\text{Relación}_{\text{TURC}}$ = coeficiente obtenido a partir del ratio medio entre los valores de rendimiento e índice de Turc reales.

Índice de Turc = índice calculado a partir de diferentes factores climáticos.

Dado que este índice en ocasiones supone una simplificación de los fenómenos que determinan el rendimiento, se consideró ajustar la ecuación inicialmente obtenida con la variable de la precipitación (se considera una precipitación desde septiembre hasta agosto del año siguiente, debido a que es la determinante para el desarrollo de este cultivo), otorgándole diferentes valores de ponderación frente al índice de Turc (I. Turc), obteniendo así unos resultados más ajustados a la realidad. Esta corrección en la ponderación se debe al alto grado de correlación entre el rendimiento experimental del cultivo del cardo y la precipitación. (véase **figura 1.2-1**).

Figura 1.2-1: Relación entre el rendimiento experimental del cardo y la precipitación en Madrid



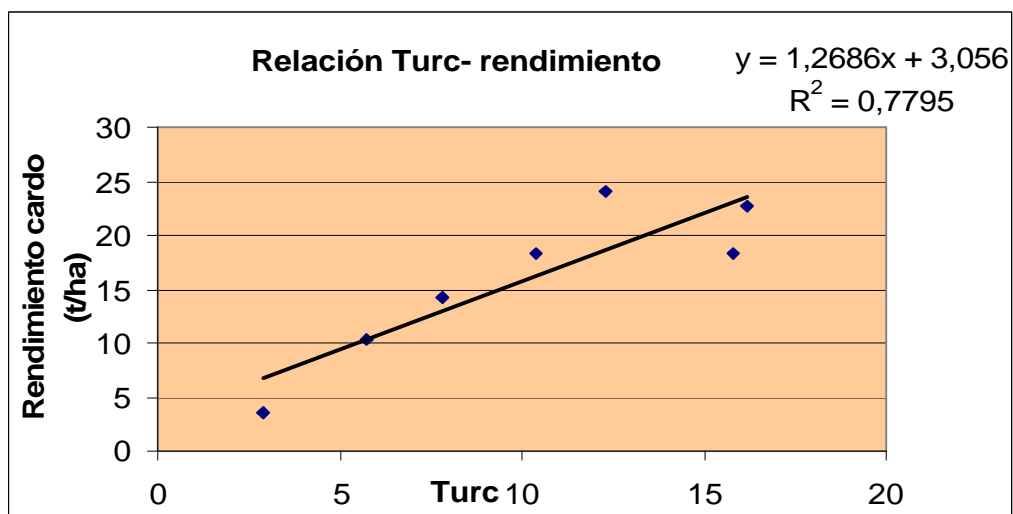
Se calculó el índice de Turc para los datos de rendimientos experimentales obtenidos desde el año 1991 y 2001 en los Campos de Prácticas de la ETSI Agrónomos de Madrid.

Tabla 1.2-I: Datos experimentales del cultivo del cardo.

Cultivo del cardo			
Año	Rendimiento (t/ha)	Precipitación sep-ago (mm)	I. Turc
91-92	18,0198	384,8	2,18
92-93	24,111	445,4	5,31
93-94	14,31	407,8	8,14
94-95	3,6075	280,2	3,34
95-96	18,2592	529,6	9,15
96-97	19,8304	588,2	6,19
97-98	22,632	765,4	14,52
98-99	10,2992	418,4	1,82
99-00	18,36	565	13,23
00-01	21,9936	321,6	10,48

A continuación, se probó una relación entre el I. Turc y el rendimiento experimental para varios años. Los resultados no fueron satisfactorios debido principalmente a que la función que se obtenía al aplicar el método L. Turc arrojaba datos de rendimiento demasiado altos en las zonas donde el I. Turc alcanzaba valores superiores a 25 (véase **figura 1.2-2**).

Figura 1.2-2: Función obtenida a partir del método de Turc.



Se continuó trabajando con estos mismos valores relacionándolos con datos de precipitación (total y otoñal) y de I. Turc, aplicándoles diferentes grados de ponderación y normalización (véase **figuras 1.2-3 a 1.2-5**). La conclusión de este estudio tampoco resultó satisfactoria debido a que las funciones resultantes tenían pendientes demasiado altas lo que suponía que a valores extremos de precipitación e índice de Turc, el rendimiento no se ajustaba a valores reales.

Figura 1.2-3: Relación entre el rendimiento de cardo experimental y el factor $(T+P)/2$.

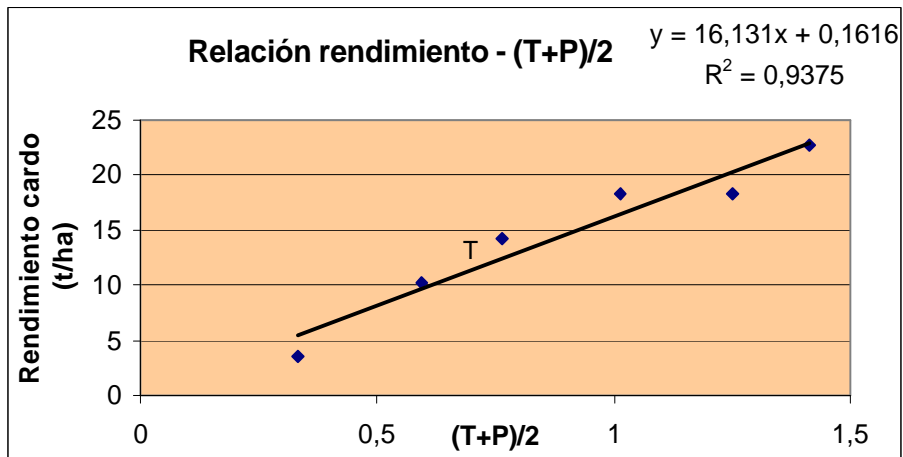


Figura 1.2-4: Relación entre el rendimiento de cardo experimental y el factor $(T+P2)/3$

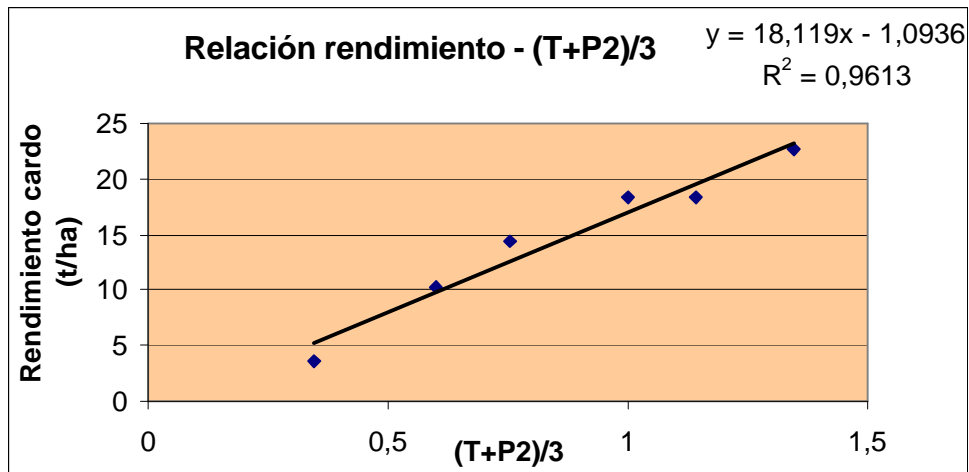
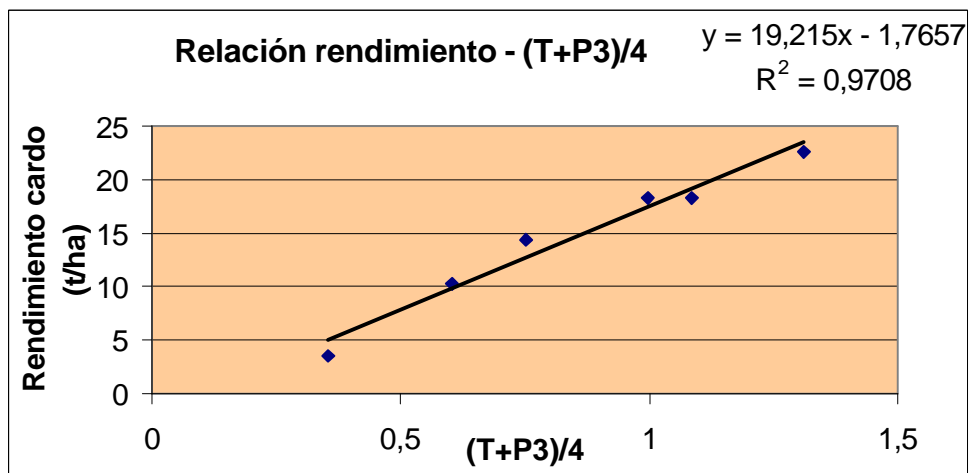


Figura 1.2-5: Relación entre el rendimiento de cardo experimental y el factor $(T+P3)/4$



Por otro lado, se analizó para diferentes provincias teóricamente aptas para el cultivo de cardo, la relación existente entre los índices de regionalización productiva

(rendimientos estimados publicados por el Ministerio de Agricultura para la obtención de las ayudas de la PAC), datos de rendimientos experimentales de trigo y girasol recogidos en los Anuarios de Estadística Agraria, así como datos de precipitación para esos años y valores de índice de Turc. El resultado más destacable de este análisis ha sido la buena correlación existente entre las variables de I. Turc y Precipitación (**Tabla 1.2-II**), obteniendo unos coeficientes de variación relativamente buenos (10-25%), a pesar de que en ocasiones puede haber pequeñas desviaciones.

Tabla 1.2-II: Valoración de la relación entre la precipitación (P) e índice de Turc (T) en la provincia de Badajoz.

Provincia de Badajoz					
P	TURC	Ratio P/T	P	TURC	Ratio P/T
389	13,2	29,47	493	18,5	26,65
419	11	38,09	499	18,5	26,97
399	13,4	29,78	527	18,1	29,12
419	14,4	29,10	500	20,2	24,75
422	14,5	29,10	517	19,2	26,93
422	15	28,13	535	18,3	29,23
457	13,2	34,62	506	20,5	24,68
447	15,7	28,47	537	18,8	28,56
457	15,2	30,07	536	19	28,21
481	13,7	35,11	529	20,6	25,68
485	13,7	35,40	567	18	31,50
461	15,7	29,36	562	19,4	28,97
473	15	31,53	593	17,1	34,68
467	15,7	29,75	574	18,8	30,53
457	16,7	27,37	559	20,1	27,81
452	17,3	26,13	559	20,8	26,88
456	17,5	26,06	551	21,6	25,51
482	15,6	30,90	585	19,2	30,47
469	16,6	28,25	586	19,5	30,05
462	17,2	26,86	568	21,1	26,92
470	16,7	28,14	592	19,6	30,20
472	17,6	26,82	553	22,6	24,47
489	16,6	29,46	565	22,6	25,00
499	16,5	30,24	582	21,8	26,70
528	14,6	36,16	602	20,7	29,08
528	14,6	36,16	652	17,3	37,69
547	13,6	40,22	628	19,3	32,54
507	16,6	30,54	653	18,2	35,88
490	18	27,22	633	19,7	32,13
489	18,2	26,87	611	21,6	28,29
494	17,9	27,60	636	20,3	31,33
495	17,9	27,65	672	18	37,33
752	17	44,24	638	21,2	30,09
738	18,6	39,68	650	21,1	30,81
669	24,5	27,31	656	20,7	31,69
738	24,5	30,12	645	22,4	28,79
781	23,4	33,38	700	19,8	35,35

Media = 30,23 ; Desviación estándar = 4,03 ; Coeficiente de Variación = 13,32%

También se empleó el método aplicado en la función inicial, según el cual a partir de un sistema de cuatro ecuaciones con cuatro incógnitas se estiman los términos dependientes y el término independiente de la ecuación resultante. Para ello, se recopilaron los índices de regionalización productiva e I. Turc que proporciona el Sistema de Información Agraria (SIGA) para cuatro de las cinco localidades en las que se había elaborado la función inicial. El resultado de este estudio fueron tres ecuaciones:

- 1) $Y = 11,69 - 3,38 * IRP + 4,41 * P * IRP + 2,925 * P$
- 2) $Y = 26,52 - 18,32 * I. Turc - 18,35 * P * I. Turc + 42,6 * P$
- 3) $Y = 54,45 - 29,9 * Media + 34,8 * P * Media + 44,6 * P$

siendo:

IRP = Índice de regionalización productiva

I. Turc = Índice de potencialidad agrícola según L.Turc

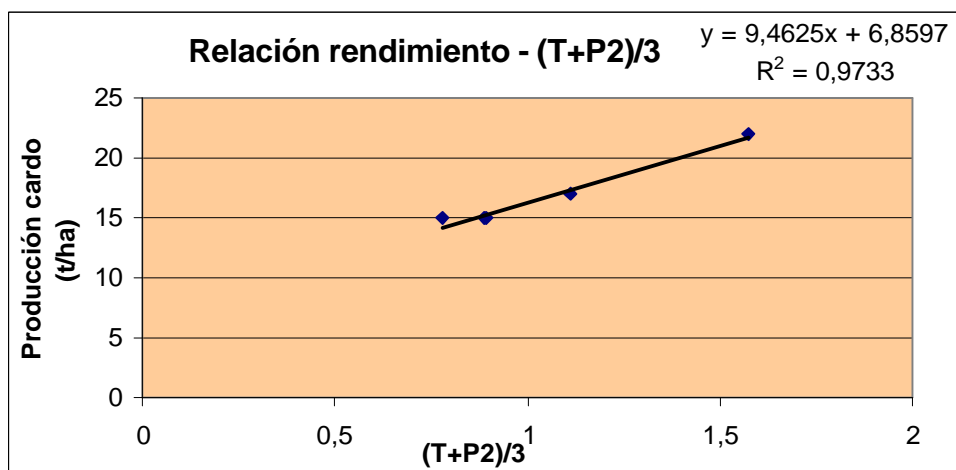
Media = es la media entre el IRP y el índice de Turc.

P = precipitación anual

La primera ecuación fue confeccionada a partir de los datos del índice de regionalización productiva, la segunda a partir del índice de Turc, mientras que la tercera se elaboró con la media entre el I. Turc y el índice de regionalización productiva (IRP). Estas tres funciones fueron desestimadas por los valores tan altos que adquieren los términos independientes (11,69; 26,52; 54,45), dando lugar a valores altos de rendimientos teóricos para valores de precipitación e índice de Turc próximos a cero.

Posteriormente se intentó obtener otra función a partir de los rendimientos experimentales utilizados en la obtención de función de producción inicial. Debido a que no se conocía el año exacto del experimento, se pensó en estimar el índice de Turc para ese mismo año a partir de la relación entre el índice de regionalización productiva (IRP) y el índice de Turc que proporciona el SIGA para esos municipios. Sustituyendo el IRP (índice de regionalización productiva) por la R (producción de cereales y girasol normalizada) en esa función se obtuvo el índice de Turc para esos rendimientos. Se estudió la precipitación y estos índices de Turc a diferentes grados de ponderación y de normalización. Concretamente el índice de Turc se normalizó a 10 y 15, mientras que la precipitación se normalizó a 400 mm, considerando la media nacional. Finalmente se obtuvo la siguiente ecuación (utilizando un factor de ponderación doble de la precipitación frente al Turc) que proporcionaba valores de rendimiento dentro de lo esperado pero únicamente para valores de precipitación entre 350-750 mm (véase **figura 1.2-6**).

Figura 1.2-6: Gráfica que relaciona el rendimiento experimental de cardo con el índice de Turc normalizado a 15 y la precipitación normalizada a 400mm.



A pesar de que esta función proporcionaba rendimientos adecuados se continuó investigando con el objetivo de buscar otra ecuación que pudiera abarcar todos los valores de precipitación y de I. Turc que se dan en España, sin necesidad de discriminar parte de ellos. Por consiguiente, se estableció un proceso de normalización para ambas variables (P y T), utilizando los valores de los rendimientos experimentales de cardo disponibles, junto con el I. Turc y la precipitación correspondiente para varios años en Madrid y para los municipios en los que se había obtenido la función inicial. Una vez recopilados con el fin de desechar aquellos en los que se produjeron incoherencias producidas principalmente por años de sequía o en los que no se realizaron correctamente las tareas de abonado. Tras esta selección se obtuvieron los datos medios de estas tres variables con los siguientes resultados:

Tabla 1.2-III: Cálculo de la normalización de P y T para un rendimiento medio.

Municipio	Rendimiento (t/ha)	Precipitación (mm)	Turc
Madrid	14,31	407,8	8,14
Madrid	3,61	280,2	3,34
Madrid	18,26	529,6	9,15
Madrid	22,63	765,4	14,52
Madrid	10,30	418,4	1,82
Madrid	18,36	565	13,23
Madrid	15	368	12,45
Estella (Navarra)	22	648	22,2
Torralba de Calatrava (C. Real)	15	348	9
Guadajira (Badajoz)	15	388	11,25
San Lucar la Mayor (Sevilla)	17	460	15,6
Media	15,59	470,8	10,97

Según esta tabla se puede concluir que las variables a tener en cuenta en esta función de producción han sido:

a) La precipitación anual normalizada (P). La normalización se realizó sobre una pluviometría de 470,8 mm/año, considerada como la necesaria para obtener un rendimiento medio para el cultivo de cardo.

b) El índice de potencialidad agrícola de L.Turc (T). La normalización se realizó sobre un índice de 10,97, considerado el adecuado para obtener un rendimiento medio para el cultivo de cardo.

A continuación se compararon estas variables aplicándoles el método de normalización explicado anteriormente, otorgándole a la precipitación diferentes factores de ponderación frente al índice de potencialidad agrícola de L.Turc, con la finalidad de analizar qué factor respondía mejor a los rendimientos experimentales. Esto mismo se realizó con los valores sin aplicar ningún tipo de normalización. A pesar de que no se observan grandes diferencias entre las variables normalizadas y sin normalizar, se llegó a la conclusión de que si se normalizan las variables como se ha explicado anteriormente y se le añade a la precipitación un factor de ponderación doble frente al I. Turc, la correlación entre las diferentes variables es buena, entorno al 0,932 y los datos de rendimientos teóricos obtenidos se ajustan bastante a la realidad, sin necesidad de acotar valores máximos y mínimos de precipitación.

A partir del cálculo de ponderación y normalización de estas variables, se obtienen los siguientes puntos:

Tabla 1.2-IV: Valores utilizados para la elaboración de la función de producción de cardo.

Municipio	Rendimiento (Y)	Precipitación (P)	Turc (T)	(T+2P)/3
Madrid	14,31	0,87	0,74	0,82
Madrid	3,61	0,60	0,30	0,50
Madrid	18,26	1,12	0,83	1,03
Madrid	22,63	1,63	1,32	1,53
Madrid	10,30	0,89	0,17	0,65
Madrid	18,36	1,20	1,21	1,20
Madrid	15	0,78	1,13	0,90
Estella (Navarra)	22	1,38	2,02	1,59
Torralba de Calatrava (C. Real)	15	0,74	0,82	0,77
Guadajira (Badajoz)	15	0,82	1,03	0,89
San Lucar la Mayor (Sevilla)	17	0,98	1,42	1,13

Conociendo estos puntos, donde Y es el rendimiento experimental obtenido de cardo en t/ha, P es la precipitación anual normalizada, calculada de septiembre a agosto, T es el índice de potencialidad agrícola de L.Turc normalizado y por último, el factor (T+2P)/3 es el resultado del estudio que se ha elaborado para relacionar ambas variables con el rendimiento. Finalmente se obtuvo una función logarítmica que estime el rendimiento esperado del cardo a partir del índice de Turc y de la precipitación.

Hito 1.3. Base de Datos comarcal

El territorio español se compone de 326 Comarcas Agrarias (véase figura adjunta) de diferente extensión, siendo Ceuta y Melilla las más pequeñas con una

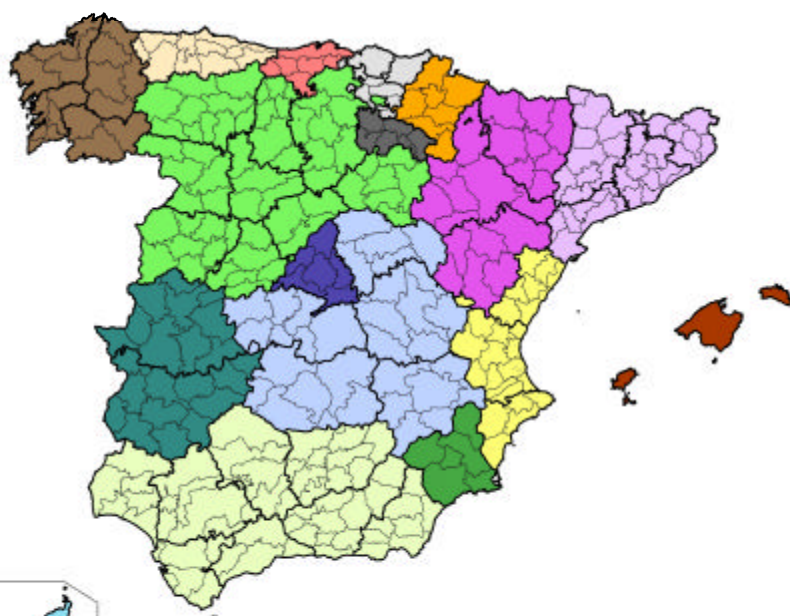
superficie 20 km² y 13 km² respectivamente, y la campiña de Sevilla, la de mayor extensión, con 5.395 km².

El objetivo principal del Hito 1.3 es elaborar una base de datos comarcal informatizada mediante la cual, a partir de un municipio y su provincia, se obtenga información referente a la comarca a la que pertenece, su superficie total, agrícola y la superficie potencial destinada a la producción de biomasa mediante cultivos energéticos según diversos escenarios. En la aplicación que se desarrolle está previsto obtener también información adicional de las comarcas adyacentes.

La Comarca Agraria se define como “Una unidad espacial, intermedia entre la Provincia y el Municipio, que, sin personalidad jurídico-administrativa alguna, permite, por su carácter uniforme desde el punto de vista agrario, su consideración como unidades para la planificación y ejecución de la actividad agraria y para la coordinación de los trabajos de sus distintos Centros Directivos” (La Comarcalización Agraria de España, MAPYA 1996)

COMARCAS AGRARIAS DE ESPAÑA

Comunidad Autónoma	Nº de comarcas
Andalucía	55
Aragón	21
Asturias	10
Baleares	3
Canarias	8
Cantabria	6
Castilla-La Mancha	32
Castilla y León	59
Cataluña	35
Comunidad Valenciana	25
Extremadura	22
Galicia	15
La Rioja	6
Madrid	6
Murcia	6
Navarra	7
País Vasco	8
Ceuta	1
Melilla	1
TOTAL	326



Caracterización geográfica

- A) Superficies, Municipios y Demografía. En este apartado se presenta, en función de los datos del INE 2004, una tabla con la extensión de la comarca, los municipios que la componen, sus habitantes, así como la densidad de población
- B) Fisiografía. A partir de un Modelo Digital de Elevaciones (M.D.E) aplicado al programa Arc Gis 9.0 se presenta un mapa físico de la comarca, con la hidrografía, comunicaciones y núcleos de población de mayor tamaño.
- C) Geología. Se presenta un mapa de las formaciones geológicas más importantes existentes dentro de cada comarca.
- D) Edafología. Al igual que con la geología, se expone un mapa donde, según la clasificación “Soil Taxonomy” (USDA), se representa hasta el nivel de Grupo, las unidades de suelo existentes dentro de cada límite comarcal.
- E) Climatología. Para cada comarca, y en base a la información recogida en el SIGA (Sistema de Información Geográfica de datos Agrarios) del MAPYA a nivel comarcal, se han elaborado dos tablas:
 - Tabla a nivel comarcal de las siguientes variables distribuidas mensualmente: Temperatura media, Temperatura media de mínimas absolutas, precipitación acumulada y Evapotranspiración potencial.
 - Tabla a nivel municipal de las siguientes variables distribuidas anualmente: Temperatura mínima, Temperatura máxima, Temperatura media, precipitación y Evapotranspiración potencial.

Caracterización agraria.

La caracterización agraria de cada comarca se realiza en base a la distribución de la superficie según los siguientes usos:

Tierras de cultivo

Cultivos herbáceos: Cereales, Girasol, Maíz y Otros cultivos herbáceos

Cultivos leñosos: Viñedo, Olivar, Frutales y Otros

Barbecho y otras tierras no ocupadas

Prados y pastos: Prados naturales y Pastizales

Terreno forestal: Monte maderable, Monte abierto y Monte leñoso

Otras superficies: Erial a pastos, Terreno improductivo, Superficie no agrícola y Ríos y lagos

Partiendo de datos facilitados por el MAPYA a nivel municipal se agregan para obtenerlos a nivel comarcal. Teniendo en cuenta los fines del estudio, las superficies se agrupan a nivel municipal en cultivos herbáceos y en cultivos leñosos, desglosando las categorías descritas anteriormente para las tierras de cultivo en Secano/Regadío y los cultivos herbáceos en trigo, cebada, avena, girasol y maíz.

Cartografía agraria. Los datos básicos sobre la distribución de superficies a nivel municipal y comarcal se elaboran en formato compatible con el Arc Gis 9.0, y con ellos

se realiza un mapa comarcal en el que se representa la densidad de las tierras cultivo, en base a la proporción de las tierras agrícolas respecto a su superficie total.

Potencial Agroenergético

Para evaluar la superficie agrícola que potencialmente se podría dedicar a cultivos energéticos, se consideran cuatro escenarios que representen cuatro grados de utilización de la tierra agrícola. Se consideran por separado los escenarios aplicados a las tierras agrícolas de secano y regadío.

Escenario 1: se destinan a cultivos energéticos el 50 % de las tierras de barbecho.

Escenario 2: se destinan a cultivos energéticos el 50 % de las tierras de barbecho más el 10 % de las tierras de cultivos herbáceos.

Escenario 3: se destinan a cultivos energéticos el 50 % de las tierras de barbecho más el 30 % de las tierras de cultivos herbáceos.

Escenario 4: se destinan a cultivos energéticos el 100 % de las tierras de barbecho más el 30 % de las tierras de cultivos herbáceos.

En base a esta estructura se presenta:

- Un mapa comarcal de escenarios en el que se representa, por municipios, el porcentaje de tierras disponibles para cultivos energéticos respecto a su superficie total.
- Una tabla comarcal con el número de hectáreas disponibles para cultivos energéticos, su productividad y su consecuente producción potencial, según escenarios

Hito 1.4. Zonificación

El diseño de esta actividad se está desarrollando bajo la aplicación del software ArcGIS™, versión 9.2 de ESRI, Inc (Environmental Research Centre). A partir de la cartografía disponible, se ha incluido un mapa de edafología 1:1.000.000 clasificado según la Soil Taxonomy junto con una capa de usos del suelo creada por el Proyecto PELCOM (Pan-European Land Cover Monitoring), con el objetivo de representar las categorías de suelos que se encuentran en las tierras destinadas al cultivo agrícola de secano, potencialmente destinado a la implantación de los cultivos energéticos. Una vez determinados los suelos, a nivel de “Grupo” que componen esta superficie cultivable, se han estudiado detalladamente, haciendo especial hincapié en las características más representativas de la capacidad agrológica de los suelos como la profundidad, textura, permeabilidad, contenido en materia orgánica, régimen de humedad y temperatura, y los usos más característicos de cada suelo.

A continuación se ha considerado para cada cultivo energético, a partir de sus requerimientos climatológicos y edafológicos, cinco clases agrológicas para el desarrollo de los cultivos energéticos en los diferentes sistemas edáficos:

- Clase I: Capacidad de uso nula. Suelos no aptos para los cultivos energéticos. Limitaciones extremas (Ej. Hidromorfismo frecuente).
- Clase II: Pobre capacidad de uso. Suelos poco recomendables para el establecimiento de los cultivos energéticos. Limitaciones severas (Ej. Régimen de temperatura Cryic=>frío).

- Clase III: Moderada capacidad de uso. Suelos aptos para el desarrollo de los cultivos energéticos. En ocasiones pueden presentar problemas de establecimiento de los cultivos.
- Clase IV: Buena capacidad de uso. Suelos recomendables para usos agrícolas. Presentan limitaciones mínimas o escasas.
- Clase V: Excelente capacidad de uso: Suelos muy apropiados para la implantación de los cultivos energéticos. Sin ningún tipo de restricción. Presentan una alta productividad y una buena fertilidad natural.

Tabla 1.4-I: Clases Agrológicas

Clases agrológicas	Valor asignado (A)
I	0
II	0,25
III	0,5
IV	0,75
V	1

Los valores asignados a cada una de las clases agrológicas se multiplican por el rendimiento que proporciona la función de producción, corrigiendo de esta forma el valor máximo de rendimiento estimado. Este procedimiento se realiza de la siguiente forma:

$$PE = PT * A$$

En el que PE es la producción estimada

PT es la producción teórica

A el valor asignado según clase agrológica

De esta forma, en las zonas que se encuentren dentro de la clase V, la producción se multiplica por el valor asignado para esa clase (1). Por tanto, en este caso, el rendimiento será el obtenido por la propia función de producción. Sin embargo, en las zonas donde corresponda la clase I, el rendimiento obtenido será nulo.

4.- Resultados y discusión

4.1. Monografías sobre cultivos energéticos

En el período correspondiente al presente informe se han completado los manuscritos correspondientes a **caña común** (*Arundo donax*), **“switchgrass”** (*Panicum virgatum*) y **miscanto** (*Miscanthus x giganteus*). También se han completado los datos para la elaboración de las monografías sobre cardo, patata, sorgo y chumbera. Se está a la espera de concretar el formato definitivo de las publicaciones y de la asignación de un presupuesto específico en función de la disponibilidad para temas de difusión.

Según información recibida del CIEMAT, responsable del subprograma de Difusión, la publicación de las monografías se podría realizar en el primer semestre de 2009.

4.2. Función de producción de biomasa

A partir de datos experimentales sobre producción de cardo para varios años en Madrid y para los municipios en los que se había obtenido la función inicial de los que

se disponía los correspondientes datos de las variables consideradas, se realizó un tratamiento matemático que condujo a:

$$y' = a + \text{Ln} [(T+2P)/3] * b$$

siendo:

y' = rendimiento teórico en t/ha de materia seca.

T = índice de Turc normalizado.

P = precipitación anual normalizada.

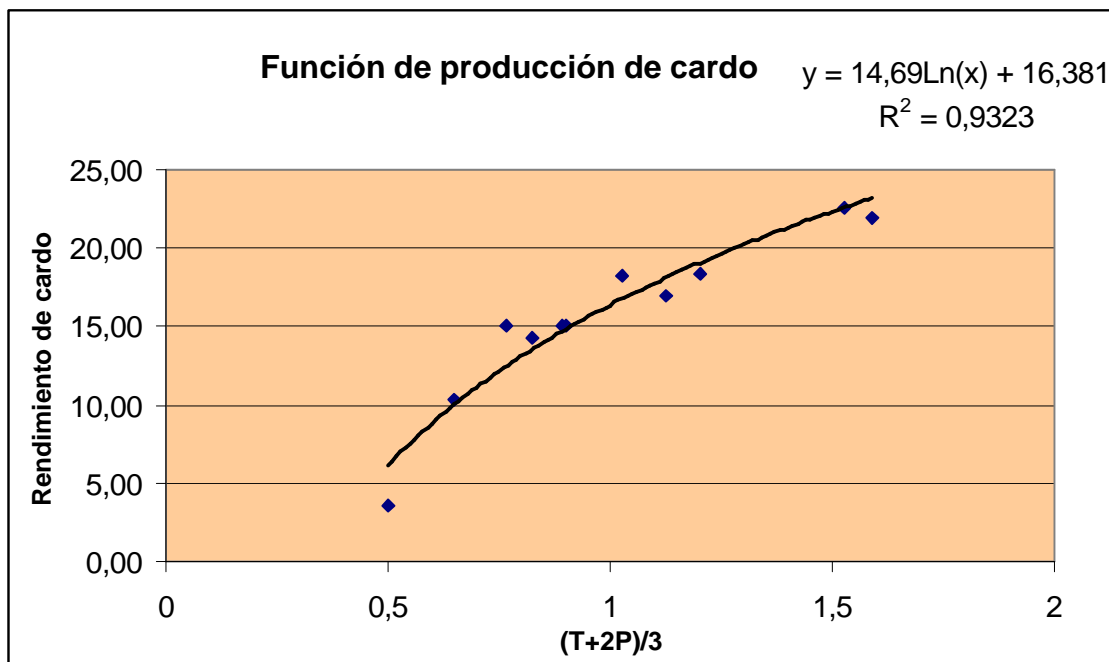
a = término independiente.

b = término dependiente.

El término independiente y el término dependiente toman los siguientes valores:

$$a = 16,381 \quad b = 14,69$$

Figura 4.2-1: Función resultante de producción de cardo.



Por tanto, la ecuación resultante es la siguiente:

$$y' = 14,69 * \text{Ln}[(T+2P)/3] + 16.381$$

Conociendo los valores de Y correspondientes a los puntos conocidos y utilizados en la elaboración del modelo, se ha analizado el comportamiento de la ecuación en la predicción de los valores de y' . Para ello se ha calculado el error relativo de cada estimación del rendimiento del cardo y el error relativo medio, dividiendo el error absoluto (diferencia entre el valor estimado y el valor real) entre el valor real. Se multiplica por 100 para obtener el tanto por ciento (%) de error.

Tabla 4.2-I: Cálculo del error relativo total

Municipio	Y	y'	Error relativo
Madrid	14,31	13,55	-5,30
Madrid	3,61	6,15	70,41
Madrid	18,26	16,79	-8,07
Madrid	22,63	22,58	-0,23
Madrid	10,30	10,00	-2,88
Madrid	18,36	19,08	3,95
Madrid	15	14,82	-1,18
Estella (Navarra)	22	23,21	5,51
Torralba de Calatrava (C. Real)	15	12,47	-16,87
Guadajira (Badajoz)	15	14,69	-2,07
San Lucar la Mayor (Sevilla)	17	18,12	6,57
		Error relativo medio	4,53

Los resultados del modelo han sido óptimos, obteniendo un error relativo medio de 4,53%; un error bastante aceptable para este tipo de modelos de estimación en los que se desconocen otras variables que puedan influir en el desarrollo de este cultivo.

A partir de esta ecuación y conociendo los datos de I. Turc y precipitación anual a nivel municipal de toda España podremos estimar la producción potencial del cardo. Esta ecuación sólo se aplica en las zonas donde existen tierras de labor de secano, evitando así dar valores de rendimiento de cardo en zonas donde este cultivo sería inviable.

4.3. Base de datos de las Comarcas Agrarias

El trabajo realizado es de una gran extensión y se ha realizado conforme a los objetivos establecidos. La mayor parte del tiempo se ha dedicado al establecimiento de la base de datos relativa a las distintas Comarcas Agrarias que permitirá evaluar el potencial de producción de biomasa en cada una de ellas.

En el **Anexo I** se indica mediante una tabla el estado del trabajo (en porcentaje de finalización) de caracterización geográfica, caracterización agraria y potencial agroenergético para cada una de las Comunidades Autónomas de España.

En este apartado hay que mencionar que las tablas de escenarios están en fase de finalización en las 326 Comarcas Agrarias, a la espera de validar el modelo de la función de producción y posteriormente el de la zonificación.

En el **Anexo II** se muestran el número de hectáreas disponibles para el cultivo de especies energéticas según los escenarios planteados, para las Comarcas Agrarias correspondientes a Galicia e Islas Baleares que durante el año 2006 no pudieron completarse.

Toda esta información se está ordenando y categorizando para la realización de una aplicación informática, que presente la amplia base de datos de una forma clara, ordenada y didáctica, con la que, a partir de un municipio y su provincia, el usuario obtenga una idea esquemática y precisa de las características geográficas y agroenergéticas que posee la comarca a la que pertenece dicho municipio y de las comarcas adyacentes.

4.4. Zonificación

El trabajo realizado es de una gran extensión y se ha realizado conforme a los objetivos establecidos. La mayor parte del tiempo se ha dedicado al estudio detallado de los diferentes sistemas edáficos basados en la clasificación de la Soil Taxonomy para su posterior asignación de valores en función de su capacidad agroecológica para el cultivo de cardo y caña común.

En las siguientes tablas se muestran los valores asignados a los diferentes grupos de suelos:

Tabla 4.4-I: Valores asignados a los diferentes grupos de suelos para el cultivo de cardo.

Grupo de suelos (Soil Taxonomy)	CARDO	
	Clase	Valoración
Calciorthid	II	0,25
Calciorthid+Camborthid	II	0,25
Calciorthid+Gypsiorthid	II	0,25
Camborthid	II	0,25
Chromoxerert	III	0,5
Chromustert	II	0,25
Cryoboralf	I	0
Cryochrept	II	0,25
Cryorthent	I	0
Cryorthod	I	0
Cryumbrept	III	0,5
Dystrochrept	III	0,5
Euthochrept	IV	0,75
Eutrandept	III	0,25
Eutrochrept	IV	0,75
Gypsiorthid	II	0,25
Haplaquept	I	0
Haplorthod	I	0
Haploxeralf	II	0,25
Hapludalf	II	0,25
Haplumbrept	V	1
Haplustalf	II	0,25
Orthent	III	0,5
Paleorthid	I	0
Palexeralf	I	0
Palexerult	I	0
Pelloxerert	I	0
Rhodoxeralf	I	0
Salorthid	I	0
Torrifluent	IV	0,75
Torriorthent	I	0
Udifluent	III	0,5
Udorthent	II	0,25
Ustochrept	III	0,5
Ustorthent	II	0,25
Ustorthent+Haplumbrept	IV	0,75
Xerochrept	III	0,5
Xerochrept+Xerorthent	II	0,25
Xerofluent	V	1
Xeropsamment	III	0,5
Xerorthent	I	0
Xerorthent+Xerofluent	III	0,5
Xerorthent+Xerumbrept	III	0,5
Xerumbrept	V	1

5.- Conclusiones

El trabajo realizado hasta la fecha no permite obtener conclusiones definitivas todavía, pero se ha podido constatar que la metodología que se emplea para los Hitos 2 y 3 es coherente y asumible, lo que permitirá conseguir los objetivos deseados para cada uno de ellos en el presente subproyecto.

6.- Grado de cumplimiento de los objetivos previstos e identificación de desviaciones

Respecto a la **Actividad 1** “Monografía de Cultivos Energéticos”, si bien en el cronograma inicial de la propuesta estaba previsto que esta actividad debería finalizar en el año 2006, se considera necesario ampliar el plazo hasta el final de 2008, con objeto de poder incorporar en las monografías correspondientes los resultados obtenidos en los cultivos experimentales que se están desarrollando en el marco de este Proyecto (cardo, pataca y sorgo azucarado entre otros). Por otra parte, la falta de presupuesto en el Subproyecto 1 para la realización de la publicación de las monografías y la inclusión de partidas presupuestarias para esta finalidad en el presupuesto del subproyecto correspondiente a la Diseminación y Explotación de los Resultados, hace que se actúe en esta materia de acuerdo con el presupuesto disponible, y según conversaciones previas, las publicaciones de las monografías se podrían realizar con los presupuestos de 2008.

Respecto a la **Actividad 2** “Función de Producción”, el objetivo principal del trabajo está cubierto al haber obtenido una función mejorada de la que ya se había obtenido en el año 2006. Podemos decir que esta actividad está prácticamente finalizada aunque En el próximo año se seguirá estudiando una posible mejora, sobre todo respecto a los límites superiores de producción para pluviometrías elevadas

Con respecto a la **Actividad 3**, “Base de datos Comarcal”, los objetivos previstos para esta actividad se han finalizado con éxito, sin producirse ningún tipo de desviación destacable.

Por último la **Actividad 4**, “Zonificación”, el propósito de este apartado para este año se ha obtenido satisfactoriamente al haber finalizado la recopilación bibliográfica necesaria para la selección de las categorías de aptitud, así como la confección de los mapas a nivel comarcal, provincial y autonómico que representen los resultados de la propia actividad. Hasta el momento no se han producido desviaciones que alteren el cronograma previsto para el año 2007.

ANEXO I: Evolución del trabajo realizado en las distintas Comarcas Agrarias.

Tabla 1-I. Estado del trabajo para cada una de las Comunidades Autónomas.

Comunidad Autónoma	Caracterización Geográfica	Caracterización Agraria		Potencial Agroenergético	
		Tabla de Datos	Cartografía	Tablas de Escenarios	Cartografía
ANDALUCÍA	100%	100%	100%	50%	100%
ARAGÓN	100%	100%	100%	50%	100%
ASTURIAS	100%	100%	100%	50%	100%
BALEARES	100%	100%	100%	50%	100%
CANARIAS	100%	100%	100%	50%	100%
CANTABRIA	100%	100%	100%	50%	100%
CASTILLA LA MANCHA	100%	100%	100%	50%	100%
CASTILLA Y LEÓN	100%	100%	100%	50%	100%
CATALUÑA	100%	100%	100%	50%	100%
COMUNIDAD VALENCIANA	100%	100%	100%	50%	100%
EXTREMADURA	100%	100%	100%	50%	100%
GALICIA	100%	100%	100%	50%	100%
LA RIOJA	100%	100%	100%	50%	100%
MADRID	100%	100%	100%	50%	100%
MURCIA	100%	100%	100%	50%	100%
NAVARRA	100%	100%	100%	50%	100%
PAÍS VASCO	100%	100%	100%	50%	100%

ANEXO II: Estimación de la superficie potencial destinada a los cultivos energéticos en función de cuatro escenarios.

Tabla II-1: Estimación de la superficie potencial (ha) destinada a los cultivos energéticos en función de cuatro escenarios para cada una de las Comarcas Agrarias de **Galicia**.

Provincia	Comarca	Escenario 1 (50% Barbecho)	Escenario 2 (50% Barbecho+ 10% Herbáceos)	Escenario 3 (50% Barbecho + 30% Herbáceos)	Escenario 4 (100% Barbecho + 30% herbáceos)
		Secano	Secano	Secano	Secano
A Coruña	Septentrional	1.455	1.653	2.051	3.501
	Occidental	1.327	1.387	1.503	2.827
	Interior	671	791	1.031	1.704
Lugo	Central	531	749	1.185	1.718
	Costa	661	678	711	1.372
	Montaña	242	281	360	603
	Sur	265	383	614	879
	Terra Cha	390	612	1.055	1.442
Ourense	El Barco de Valdeorras	452	611	931	1.384
	Ourense	997	1.124	1.375	2.373
	Verín	611	2.050	4.926	5.537
Pontevedra	Interior	149	149	149	299
	Litoral	808	813	826	1.630
	Miño	366	369	372	739
	Montaña	291	360	499	790

Tabla II-2 : Estimación de la superficie potencial (ha) destinada a los cultivos energéticos en función de cuatro escenarios para cada una de las Comarcas Agrarias de **Islas Baleares**.

Provincia	Comarca	Escenario 1 (50% Barbecho)		Escenario 2 (50% Barbecho+ 10% Herbáceos)		Escenario 3 (50% Barbecho + 30% Herbáceos)		Escenario 4 (100% Barbecho + 30% herbáceos)	
		Secano	Regadío	Secano	Regadío	Secano	Regadío	Secano	Regadío
Baleares	Mallorca	14.252	169	18.875	1.860	28.142	5.245	42.371	5.409
	Menorca	3.594	0	6.217	276	11.471	824	15.064	824
	Ibiza	2.753	0	3.302	179	4.403	539	7.156	539