

XIII CONGRESO NACIONAL DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACION GEOGRÁFICA. Las Palmas de Gran Canaria 15-19 de septiembre de 2008

EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO MULTITEMPORAL DE LA DESERTIFICACIÓN A TRAVÉS DEL SISTEMA DE INFORMACION GEOGRÁFICA AMBIENTAL DE ANDALUCÍA

Manuel Rodríguez Surián¹, José Manuel Moreira Madueño¹, Javier Quijada Muñoz¹, Mariano Corzo Toscano², Yolanda Gil Jiménez²

(1) Dirección General de Participación e Información Ambiental. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía.

Josem.moreira@juntadeandalucia.es, javier.quijada@juntadeandalucia.es, manuel.rodriguez.surian@juntadeandalucia.es

(2) Desarrollo de la Red de Información Ambiental de Andalucía. (EGMASA)

mcorzo@egmasa.es, ygil@egmasa.es

RESUMEN

La desertificación, como proceso de degradación provocada por la confluencia de unas condiciones climáticas de carácter árido o semiárido junto con actuaciones humanas agresivas y poco sostenibles en el medio natural y productivo y teniendo en cuenta el contexto actual de cambio climático, es un fenómeno medioambiental del cual parece oportuno realizar un seguimiento, tanto de su evolución histórica reciente como de los cambios que los nuevos escenarios climáticos pueden condicionar con objeto de elaborar estrategias de mitigación o puesta en valor, además de abordar una mayor concienciación de los problemas que se nos avecinan.

La disponibilidad de información histórica en un Sistema de Información Geográfica referente a usos y coberturas del suelo y a datos climáticos junto con otras informaciones del medio (relieve, suelos, geología, gestión del medio.....), así como de información climática de los posibles escenarios futuros de cambio por periodos decenales hasta 2100 en el seno de la Red de Información Ambiental de Andalucía (REDIAM), ha permitido en el marco de los proyectos europeos DesertNet I y DesertNet II el desarrollo de modelos para el diagnóstico de las áreas afectadas por procesos históricos de desertificación y las zonas de incidencia actual y futura, a la vez que es aplicada una metodología común al contexto europeo para la delimitación de las áreas sensibles a la degradación. Estos modelos se aplicaron a todo el territorio andaluz obteniéndose una visión de la incidencia temporal y espacial de este fenómeno.

Palabras Clave: DESERTIFICACIÓN, ANDALUCIA, DESERTNET, CAMBIO CLIMÁTICO

RESUMEN

Desertification, as a process of degradation caused by the confluence of certain arid or semi-arid climatic conditions together with aggressive and barely sustainable human activities in the natural and productive environment, and also bearing in mind the current context of climate change, is an environmental phenomenon whose monitoring would seem to be advisable, both with regard to its evolution in recent years and in relation to the changes that the new climatic scenarios may determine, in order to prepare mitigation or enhancement strategies, and also to raise greater awareness of the approaching problems.

The availability of historical information in a Geographic Information System referring to land uses and land cover and to climatic data, together with other environmental information (relief, soils, geology, environment management.....), as well as decade-by-decade climatic information on possible future change scenarios until 2100 in the Andalusian Environmental Information Network (REDIAM), has permitted, within the framework the European projects DesertNet I and DesertNet II, the development of models for diagnosing the areas affected by historical desertification processes and the areas of present and future incidence, while at the same time a common methodology is applied to the European context for the delimitation of degradation-sensitive areas. These models have been applied to the entire territory of Andalusia, providing a view of the temporal and spatial incidence of this phenomenon.

Keywords: DESERTIFICATION, ANDALUSIA, DESERTNET, CLIMATE CHANGE

INTRODUCCIÓN

En ambientes mediterráneos la desertificación no es algo nuevo, inicialmente se inició con el establecimiento durante el holoceno de unas condiciones climáticas de aridez con el consiguiente descenso del potencial biológico de los suelos. A estas alteraciones naturales se ha unido un continuo manejo de los ecosistemas por parte del hombre con el establecimiento de la agricultura y ganadería. Ya desde el neolítico los distintos pueblos y civilizaciones han ido incrementando su presión sobre el medio mediante roturaciones de tierras para el cultivo, el pastoreo, la explotación maderera,....de forma paralela a los incrementos demográficos.

Pero no es hasta el siglo XX donde se pone de manifiesto la capacidad de impacto y sobreexplotación de los recursos naturales que el desarrollo tecnológico reciente ha puesto en la mano del hombre. No sólo tiene capacidad para devastar la cobertura vegetal de extensas zonas o para destruir o contaminar el suelo a ritmo acelerado, o degradar y desecar amplias zonas húmedas, sino que está siendo capaz de producir cambios en el equilibrio climático planetario de consecuencias imprevisibles.

Los últimos informes, especialmente el de febrero de 2007, presentados por el panel internacional sobre el cambio climático (IPCC) ponen de manifiesto que el cambio climático no solo se manifestará como un deshielo de polos y glaciares de alta montaña sino que afectará también a regiones de latitudes medias como es el caso de Andalucía, donde las actuales zonas áridas y semiáridas tenderán a extenderse y donde los hábitats de distribución restringida y condicionados climáticamente verán muy comprometida su existencia, siendo afectados un gran número los de ecosistemas particulares y especies endémicas existentes en la región.

La desertificación, como proceso de degradación auspiciado por la confluencia de unas condiciones climáticas de carácter árido o semiárido junto con actuaciones humanas agresivas y poco sostenibles en el medio natural y productivo es un problema endémico de los ambientes mediterráneos, y teniendo en cuenta el contexto actual de cambio climático, parece oportuno realizar un seguimiento, tanto histórico como de futuro de la evolución de este fenómeno en la región andaluza con objeto de abordar una mayor concienciación de los problemas que se avecinan.

El estudio y control de los procesos desencadenantes de la desertificación es una línea prioritaria dentro de la actividad de la Consejería de Medio Ambiente la cual se encuentra desarrollando un Plan de Control Andaluz de la Desertificación en el que se establece un diagnóstico inicial y marca como su objetivo principal la prevención o mitigación de la degradación en las tierras afectadas y la puesta en valor de las zonas áridas naturales o naturalizadas.

Como parte de las carencias y necesidades puestas en evidencia en la fase de redacción y desarrollo de dicho plan y en el marco del Proyecto DesertNet I se desarrollaron e implementaron herramientas de modelización eficaces para la identificación de las áreas de actuación. De esta manera se obtuvieron modelos de diagnóstico de las áreas afectadas por procesos históricos y las zonas de incidencia actual a la vez que se adoptaba una metodología común al contexto europeo para la delimitación de las áreas sensibles.

La desertificación no es un fenómeno estático, sino que debe ser considerado como un fenómeno dinámico, condicionado en gran parte por las fluctuaciones climáticas y por la evolución de la presión productiva ejercida por el hombre en la explotación de los recursos naturales. Bajo esta premisa y tomando como base los modelos desarrollados en el proyecto **DesertNet I** se ha planteado su aplicación en el estudio espacio-temporal de la desertificación. Este objetivo ha sido la base principal de los trabajos desarrollados en el ámbito del Proyecto Europeo de Cooperación Interregional **DesertNet II** del Programa Interreg III B como una acción piloto de carácter regional.

La existencia de la Red de Información Ambiental de Andalucía ha permitido contar con una infraestructura muy completa de datos ambientales. El subsistema CLIMA, donde se recogen y estructuran datos climáticos procedentes de todas las redes de seguimiento existentes a nivel regional ha permitido el desarrollo de estudios, tanto históricos y actuales como tendentes a prever escenarios sobre el comportamiento futuro de variables como la precipitación y las temperaturas a lo largo del siglo XXI.

Igualmente la existencia de un programa de levantamiento de información sobre los usos y coberturas vegetales del suelo ha permitido contar con información referida a los años 1956-1999-2003 a escala 1:25.000, sobre una única base cartográfica de referencia y utilizando los mismos criterios de interpretación, lo que facilita la evaluación de los cambios y tendencias de usos del territorio y su implicación en los fenómenos erosivos.

EL MODELO CONCEPTUAL

No es la desertificación un fenómeno nuevo, su incidencia secular hace que se pueda definir una **desertificación heredada**, considerada como difícilmente reversible y que conforma actualmente un paisaje en equilibrio, actualmente naturalizado y de alto valor ecológico. Paralelamente la desertificación se manifiesta también en zonas donde los procesos que la causan se muestran activos en la actualidad, estas áreas de **desertificación actual** presentan un nivel de degradación que aún no alcanza niveles irreversibles y donde es posible mediante la adopción de medidas correctoras mitigar la incidencia de esta problemática (López Bermúdez, F., 2001). Estas zonas son en gran medida áreas fluctuantes, aunque en progresivo deterioro, determinadas por la variabilidad climática a medio plazo y por la explotación del medio en función de su rentabilidad circunstancial.

Igualmente importante se muestra la necesidad de realizar una identificación de los factores de **riesgo de degradación o desertificación**, aún cuando su incidencia sobre el medio no muestre señales de deterioro de éste. El establecimiento de indicadores de seguimiento de los factores implicados, ya sea directamente o a través de sus efectos, puede permitir un diagnóstico precoz de los problemas y promover una rápida y económica corrección de estos. El establecimiento de las **áreas sensibles o vulnerables** a través de estos indicadores determinará la fragilidad de los territorios y su potencialidad a sufrir este fenómeno.

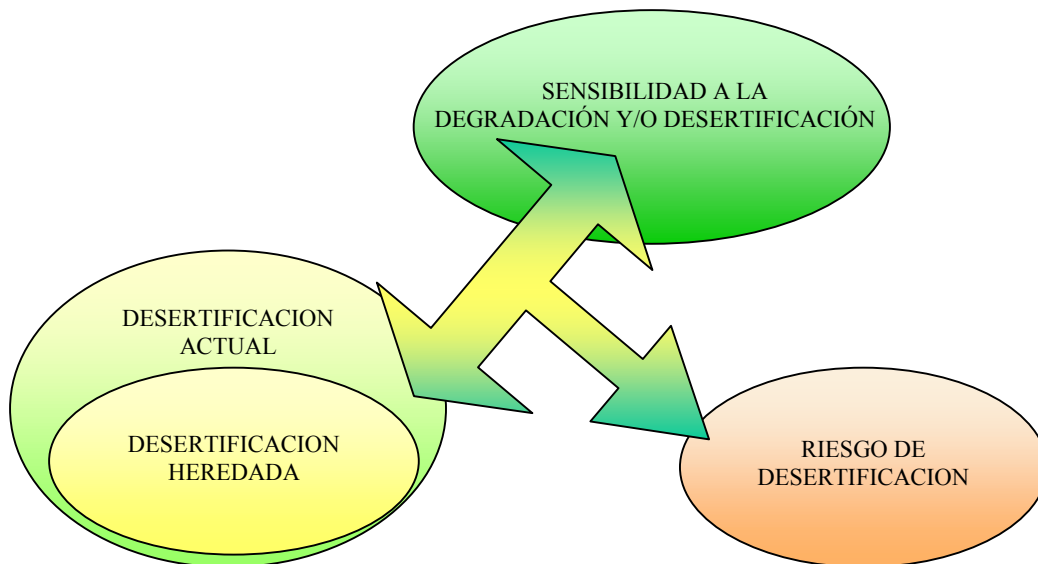


Figura 1.- Esquema conceptual de la definición de Riesgo de Desertificación (Proyecto DesertNet II)

La conjunción del diagnóstico (Figura 1) de las áreas de desertificación heredada, áreas de desertificación actual y áreas sensibles determinará el riesgo de desertificación, donde se recoge el estado de las tierras de Andalucía junto con las áreas de mayor incidencia y actividad de los procesos de degradación en relación con la desertificación.

LA INFORMACIÓN

La diversa y variada información necesaria para realizar este proceso de evaluación procede de la Red de Información Ambiental de Andalucía, la cual produce, normaliza y difunde la información sobre el medio ambiente en Andalucía, constituyendo una herramienta especialmente útil para la gestión, la investigación, la toma de decisiones y el conocimiento en general, y en última instancia, la mejora del medio ambiente y su sostenibilidad.

Parte de la información, la considerada más dinámica, es fruto de programas continuos de generación de información que han posibilitado el estudio multitemporal de la desertificación. Dentro de esta categoría de información se encuentra la climática, la referente a los usos y coberturas vegetales del suelo, biodiversidad y la evolución de las aguas subterráneas, las dos primeras han sido elaboradas en el contexto del Sistema de Información Geográfica Ambiental de Andalucía y la tercera recopilada de distintas publicaciones (IGME 1988, 1998). El resto de información de carácter menos dinámico (geomorfología, suelos, litología, relieve, intensidad de formas erosivas, capacidad de uso de las tierras...), se ha mantenido constante en el proceso de evaluación.

Toda la información gráfica, tanto la generada con formato vectorial como la obtenida en formato raster ha sido ajustada y/o transformada a una malla de 80 metros de origen único y que cubre todo el territorio regional con objeto de realizar todos los procesos de cálculo. Las herramientas informáticas empleadas para el tratamiento de la información han sido ArcInfo y Arcgis 9.2 para el tratamiento y manejo de la información vectorial y raster, Amatel para información raster y Arcgis 9.2 para el análisis y representación gráfica de los resultados

La elaboración de la información climática

Para el análisis de las condiciones climáticas y medioambientales en el siglo XX se utilizaron datos de precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima diaria obtenidos en estaciones meteorológicas distribuidas por toda la región. Las estaciones pertenecen en su mayor parte a la red de estaciones meteorológicas secundaria de la Agencia Estatal de Meteorología, si bien se utilizaron datos de estaciones meteorológicas automáticas de ese mismo organismo para el cálculo de la erosividad de la lluvia.

Los periodos de datos analizados son 1927 - 1956, 1971 - 2000, y 1976 - 2005. Se seleccionaron los datos de precipitaciones y temperaturas que dispusieran de, al menos, el 80% de los registros en el periodo. En el caso del primer periodo, dado el escaso número de observatorios que cumplían la premisa general, este criterio se flexibilizó para disponer de una cobertura puntual más densa.

El cálculo de los escenarios de precipitación y temperatura en el siglo XXI desarrollados para la Consejería de Medio Ambiente se han obtenido haciendo downscaling de las salidas de tres modelos de circulación general: el ECHAM4/OPYC3 alemán, el CGCM2 canadiense, y el HadAM3 de Gran Bretaña. Los tres modelos se han aplicado a dos escenarios de emisiones futuras: el A2, caracterizados por el continuo crecimiento, y el B2, en el que destacaría la protección del medio ambiente y la tendencia hacia la igualdad social.

A partir de las diferentes salidas se han obtenido los valores medios de precipitación y temperatura correspondientes a los periodos 2011 - 2040, 2041 - 2070 y 2071 - 2100. Dado que el estudio parte de estaciones meteorológicas históricas en las que se han corregido inhomogeneidades y reconstruido las lagunas temporales, la simulación permite obtener datos diarios para todas ellas a lo largo del siglo XXI, obteniéndose 769 series de precipitación y 220 de temperatura.

Con objeto de permitir el análisis espacial los resultados obtenidos para cada estación meteorológica y cada variable medioambiental, han sido espacializados utilizando dos técnicas concretas. Las precipitaciones y la

erosividad de la lluvia han sido espacializadas utilizando el método del inverso de la distancia, mientras que temperaturas y evapotranspiración potencial se han espacializado mediante la regresión múltiple de variables fisiográficas y la adición de los residuos mediante el inverso de la distancia.

La elaboración de la información sobre usos del suelo y biodiversidad

Paralelamente y en virtud del programa de levantamiento de información sobre los usos y coberturas vegetales del suelo desarrollado a través de la Red de Información Ambiental de Andalucía, la Consejería de medio ambiente dispone de información relativa a la evolución de los usos en el ámbito regional referida a los años 1956-1999-2003.

Delimitada sobre una base cartográfica común y una única cobertura de información fruto de un proceso de interpretación de cambios, que no de usos del territorio, se ha interpretado con criterios similares (Moreira et al., 2007) lo que hace que todo análisis sea coherente y no influenciado por geometrías e interpretaciones divergentes. En este mapa se han distinguidos hasta 162 clases de usos agrupados en seis niveles jerárquicos diferenciados. Como información complementaria las áreas forestales y naturales llevan asociada información taxonómica relativa a especies dominantes y codominantes en el estrato arbóreo y arbustivo obtenida a partir de un intenso trabajo de campo.

Esta información se muestra imprescindible en el proceso de evaluación, derivándose además de ella una valoración de la biodiversidad como indicador de primera magnitud del estado de degradación del medio. En la valoración de este aspecto para cada una de las fechas analizadas se han considerado tres parámetros fundamentales: La diversidad estructural de la vegetación, estima el grado de protección del suelo que ofrece la vegetación, se valora en función del uso del suelo. La biodiversidad vegetal, valora el número de hábitats presentes en el territorio. La comparación de la vegetación actual con la esperada según la serie de vegetación dominante en el territorio

EL DIAGNÓSTICO

La desertificación heredada

Áreas donde secularmente han incidido desde tiempos remotos los procesos causantes de la desertificación, provocando sobre el territorio una degradación de la capacidad productiva de las tierras de tal manera que para obtener producciones agrícolas es necesario emplear elementos tecnológicos e inputs de alto valor, además de tener que realizar actuaciones sobre el medio de fuerte impacto ambiental.

Son tierras donde la desertificación es un proceso natural al que se han adaptado unas actuaciones humanas sobre el medio desde tiempo históricos, prácticamente desde el inicio de la civilización, Esta conjunción de factores ha conformado unos paisajes desérticos que constituyen en sí mismos áreas de un alto valor ecológico y paisajístico donde más que su recuperación, habría que considerar su puesta en valor como un recurso ambiental excepcional.

Su determinación (Figura 2) se ha realizado a partir de información climática de pluviometría y evapotranspiración, información referente a geoformas heredadas, identificando badlands (Moreira, J.M y Rodríguez, M., 2005) , áreas con altas intensidades de formas erosivas (Emp. Nac. Adaro, 1983) y cuencas con régimen hídrico de ramblas, información edáfica (Iara-Csic, 1989) referente a profundidad de suelo expresado como índice de leptolización y salinidad natural y, por último, una valoración de las cabeceras de las series de vegetación (Rivas Martínez, S., 1987) respecto a una situación de degradación propia de las zonas desertificadas.

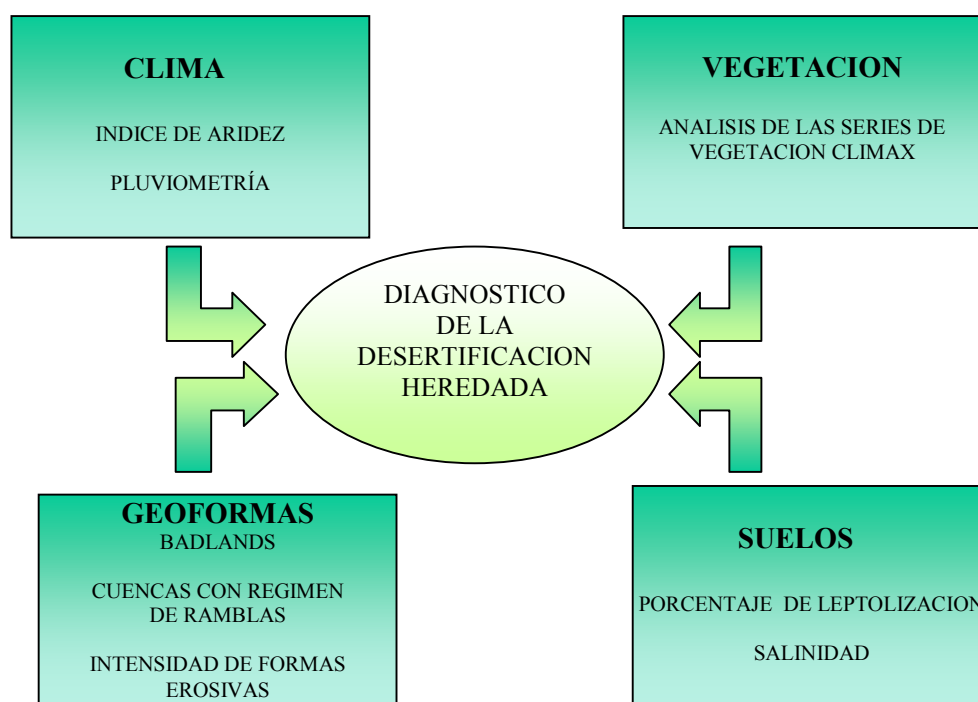


Figura 2.- Esquema del diagnóstico de la Desertificación Heredada

La desertificación actual

Frente a la desertificación calificada como proceso naturalizado, derivado de la evaluación de series históricas o procesos procedentes de ciclos temporales largos, existen procesos actuales que actúan tanto sobre las zonas naturalmente desérticas, como sobre otras que han sufrido recientemente o están sufriendo degradaciones que pueden llevar a la desertificación de dichos territorios.

La combinación de información clasificada relativa a clima, aguas subterráneas, adecuación de uso y capacidad productiva del suelo, usos y biodiversidad, y geomorfología (Figura 3) determina las áreas actualmente desertificadas o cercanas a la desertificación y donde los procesos están actualmente activos. Estas zonas presentan una producción agrícola tradicional de carácter marginal, gran parte de las áreas de cultivo se han abandonado, acentuándose la degradación de las mismas y sólo perviven cultivos altamente tecnificados y de alto valor añadido capaces de hacer rentables las inversiones y gastos corrientes necesarios para su producción. Una vez espacializada la desertificación actual se han añadido todas aquellas áreas diagnosticadas con desertificación heredada, obteniéndose así, todas las zonas desertificadas en la actualidad, tanto como consecuencia de causas naturalizadas o históricas como aquellas que son consecuencia de procesos recientes. A continuación se detalla el tratamiento y análisis realizado sobre la información:

El clima se ha valorado a partir de precipitación, evapotranspiración y capacidad de retención de los suelos, determinándose el balance hídrico, generándose un nuevo indicador a partir del nº de días al año con déficit hídrico.

La degradación de las aguas subterráneas se ha realizado valorando información relativa a intrusiones, salinidad y sobreexplotación de carácter puntual y asociada tanto a la red de control del IGME como a las caracte-

rizaciones periódicas realizadas por este mismo organismo (IGME, 1998 y 1988), el resultado se ha asociado espacialmente a unidades físicas de alta permeabilidad que conforman los diferentes acuíferos.

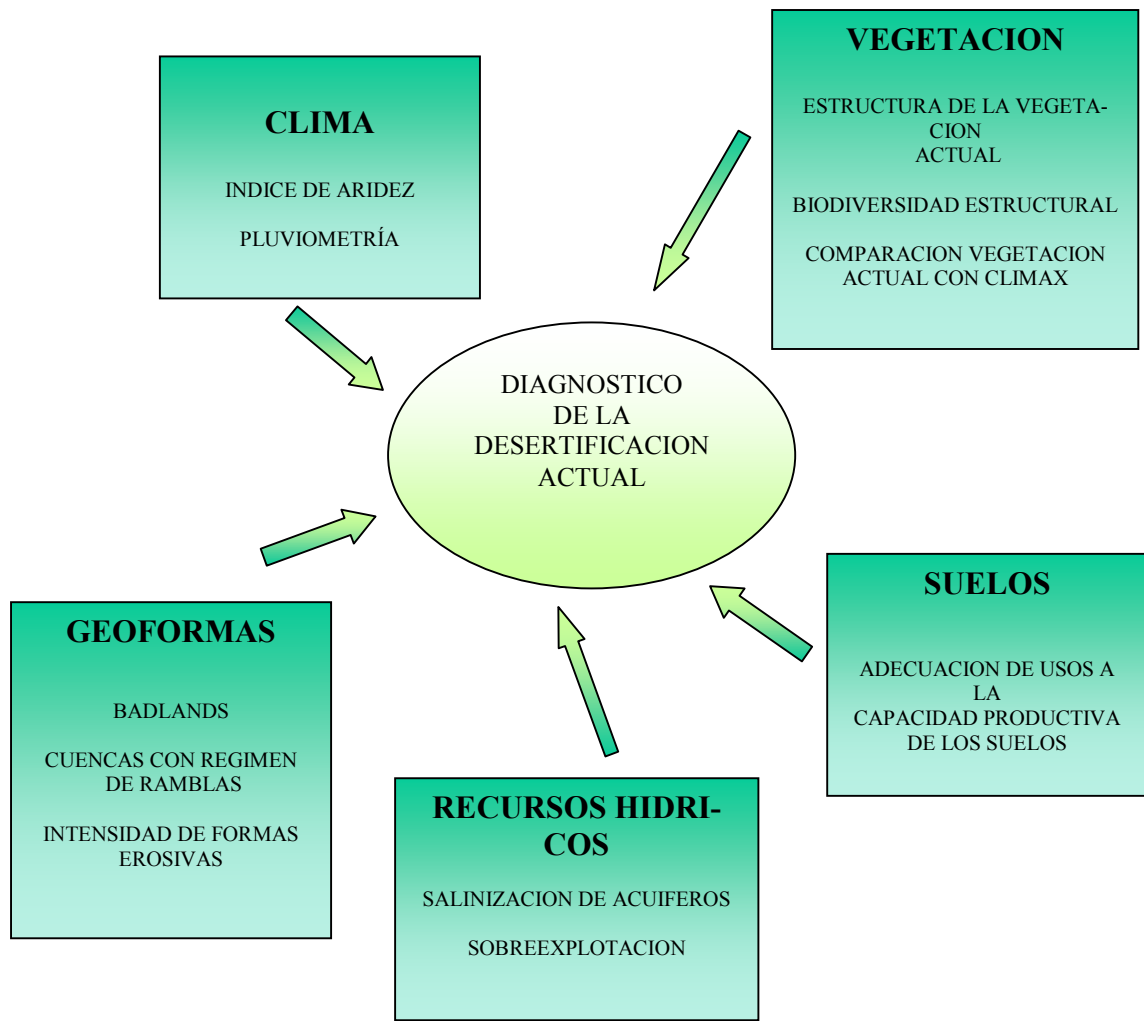


Figura 3.- Esquema del diagnóstico de la Desertificación Actual

El impacto causado por la actividad humana ha sido valorado a través de la adecuación de los usos actuales a la capacidad productiva de las tierras, de tal manera que una no adecuación del uso a dicha capacidad supone un alto riesgo de desencadenar la desertificación. Este análisis se ha realizado a partir de un mapa de Capacidad de Uso General de la Tierras de Andalucía (Moreira, J.M. y Rodríguez, M, 2005) y de las distintas coberturas de usos del suelo. Se ha considerado que la mayor intensidad de uso sobre suelos inadecuados comporta un mayor riesgo de desertificación.

La vegetación actual se ha evaluado a partir de tres variables: la estructura de la vegetación (a mayor complejidad estructural menor grado de desertificación), biodiversidad vegetal (a mayor número de hábitats presentes menor grado de desertificación) (Quijada, F.J. et al., 2005) y vegetación actual (se ha comparado la vegetación actual frente a la esperada según la serie de vegetación dominante en el territorio).

Igualmente se ha incorporado la misma variable que valora las geoformas empleada en el diagnóstico de la desertificación heredada.

Por último, las áreas identificadas como de desertificación heredada se incluyen en esta valoración como un subconjunto de las áreas afectadas por la desertificación en la actualidad.

La Sensibilidad a la degradación-desertificación

Para caracterizar la sensibilidad a la degradación-desertificación de las tierras se ha utilizado el modelo MEDALUS (Kosmas et al., 1999) que permite identificar las áreas vulnerables o sensibles a la desertificación mediante la aplicación de indicadores biofísicos y socio-económicos. Este modelo ha sido el elegido por los distintos socios participantes en los proyectos europeos DesertNet | y DesertNet 2 como modelo de diagnóstico con objeto de tener una visión común de esta problemática en los distintos países del arco norte Mediterráneo.

Básicamente el modelo se basa en la implementación de cuatro índices de calidad de factores directamente relacionados con la desertificación: suelo, clima, vegetación y gestión del territorio (Figura 4). Dentro de cada factor se realiza un análisis de los principales parámetros o indicadores que marcan su sensibilidad a la degradación. Los procesos de cruce de información se realizan mediante medias geométricas y posterior clasificación .

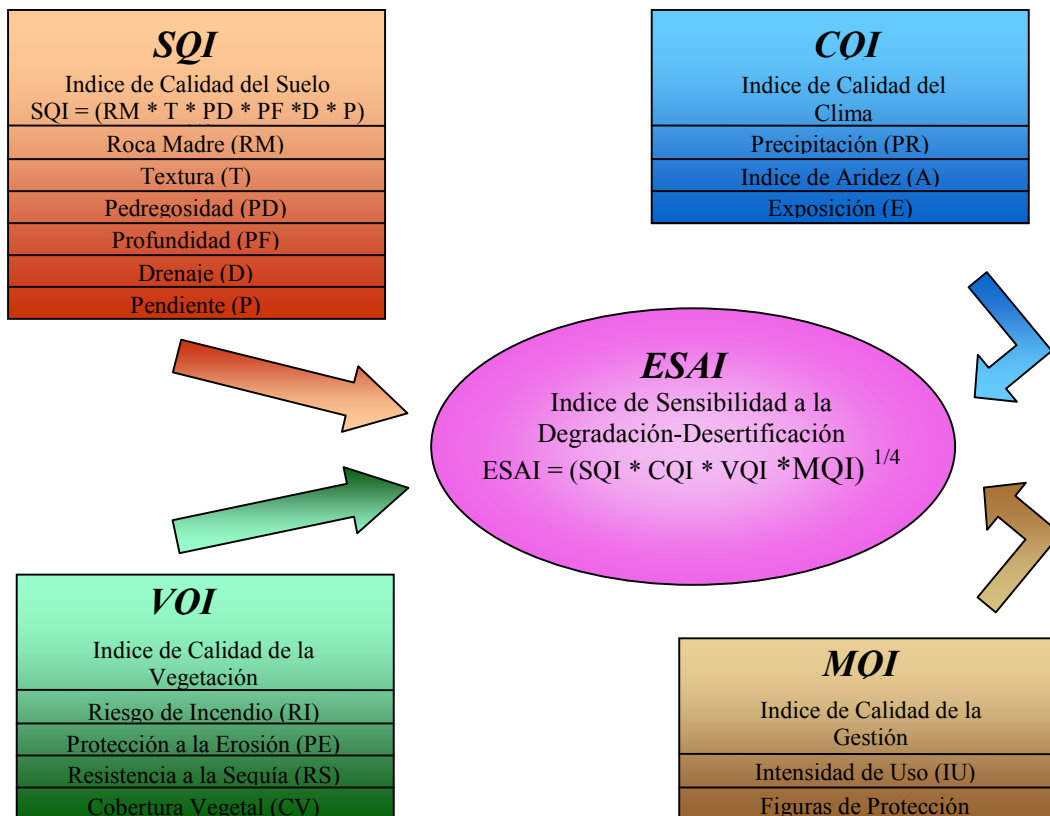


Figura 4.- Esquema del diagnóstico de la Sensibilidad a la degradación-desertificación

El Riesgo de desertificación

Para definir el mapa de riesgo de desertificación se ha realizado la integración en un único grid de la información resultante de los tres procesos de diagnóstico anteriores (Figura 1) y se ha procedido a una reclasificación en la que se pone de relieve las áreas naturalmente afectadas, las afectadas por actuaciones recientes y actualmente activas y las zonas no afectadas pero con una fuerte incidencia de procesos que conducirán a medio-largo plazo a una importante degradación del medio que desembocara en una situación cercana a la desertificación

RESULTADOS

El análisis multitemporal de las series climáticas, tanto de series históricas como de su proyección hacia el futuro ha permitido obtener distintos escenarios adaptados a la disponibilidad de información referente a usos del suelo.

De esta manera se han espacializado para los periodos 1927 - 1956, 1971 - 2000, 1976 - 2005, 2011 - 2040, 2041 - 2070 y 2071 - 2100 la precipitación y la temperatura y la evapotranspiración por periodos decenales, empleándose esta información para determinar la influencia del clima en los procesos de degradación del medio y utilizando como indicadores el índice de aridez, expresado como la relación entre precipitación y evapotranspiración, y el número de días con déficit hídrico.

Igualmente la disponibilidad de información sobre usos del suelo referenciada a 1956, 1999 y 2003 ha permitido realizar la valoración, para estas tres fechas, del número de especies, biodiversidad estructural, coberturas vegetales, riesgo de incendios, con objeto de alimentar los modelos propuestos.

En definitiva, conjugando periodos climáticos y fechas de referencia de los usos del territorio, se ha obtenido un diagnóstico de la desertificación actual (Figura 6) y de la sensibilidad de las tierras a este proceso de degradación (Figura 7) referenciadas a 1956, 1999 y 2003, además del diagnóstico de las áreas de desertificación heredada (Figura 5). La integración de los diagnósticos anteriores definen el mapa de Riesgos de Desertificación (Figura 8). En las proyecciones al futuro (2040, 2070 y 2100) se ha mantenido, no obstante, constante los resultados derivados de la vegetación del 2003 ya que la evolución de la vegetación en función de las condiciones climáticas previstas no ha podido ser valorada, al constituir en si misma materia para un nuevo proyecto. No obstante, ya se están realizando proyectos de investigación en esta línea de los que se esperan obtener resultados a medio plazo que servirán para alimentar a los modelos propuestos en el presente artículo.

El análisis de la evolución de las principales variables climáticas permite determinar la existencia de una tendencia ascendente de las temperaturas y evapotranspiración potencial y descendente de las precipitaciones. Esta tendencia ha sido progresiva a lo largo de la segunda mitad del siglo XX con tasas de incremento de las temperaturas inferiores a las dos décimas de grado por década. Sin embargo en los últimos años del siglo XX y principios del XXI se han producido tasas de incremento considerables produciendo cambios significativos, de hasta +0,25°C en los valores de temperatura media en los periodos 1971 - 2000 y 1976 - 2005. Los escenarios de cambio climático hacia el futuro señalan la consolidación de una elevada tasa de incremento de las temperaturas. La evapotranspiración potencial, estrechamente ligada al comportamiento de las temperaturas, denota un comportamiento similar.

En cuanto a las precipitaciones éstas se han mantenido en niveles similares en el periodo 1927-2005 aunque las variaciones en el comportamiento de las precipitaciones mostradas en las simulaciones del clima futuro son muy elevadas, con reducciones de -35% en el periodo 2011 – 2040 y que llegarían al -40% en el periodo 2071 – 2100 (en relación al periodo 1976 – 2005).

La evolución de los usos del suelo en el periodo estudiado 1956-2003 muestra una gran estabilidad en la dedicación agrícola y forestal de las tierras de Andalucía a nivel general manteniéndose relativamente estable desde 1956 a la actualidad. Si se producen ciertos cambios dentro del uso agrícola al producirse una intensificación e incremento de la superficie en regadío, aparecer la agricultura forzada de los invernaderos almerienses y aumentar la superficie de olivar.

En las superficies forestales el cambio más importante acaece a las superficies arboladas que muestran un incremento cercano a las 390.000 has, igualmente se observa un aumento en la densidad de los matorrales y una disminución de las formaciones arbustivas, descenso en gran medida debido a repoblaciones.

En cuanto a los resultados obtenidos en el diagnóstico de la desertificación heredada (Figura 5) es Almería la provincia donde prácticamente se localizan la totalidad de los territorios afectados por procesos históricos de desertificación (32 % superficie provincial), registrándose su presencia, aunque en menor medida en la provincia de Granada (6 % superficie provincial). A nivel regional la desertificación heredada representa no más de un 4% de la superficie, integrando las áreas conocidas como badlands, que actualmente se encuentran naturalizadas, y que constituyen espacios naturales de gran interés, como el Paraje Natural Desierto de Tabernas, y en los que no tienen sentido actuaciones de restauración, sino de puesta en valor.

En cuanto a la desertificación actual, se pone de manifiesto una tendencia ligeramente ascendente de las superficies afectadas desde 1956 a la actualidad, localizándose, fundamentalmente, en el extremo suroriental de la región los mayores incrementos. Este aumento es achacable a una intensificación de los usos del territorio que ha traído aparejada una sobreexplotación y degradación de las aguas subterráneas, ya que la variación de los registros climáticos no son muy significativos en estas áreas, sometidas a un déficit hídrico de carácter crónico. El incremento observado en el periodo 1956-2003 es ligeramente inferior a un 1% del territorio andaluz, aunque en términos relativos, supone un incremento del 10 % de las áreas desertificadas.

Las provincias más afectadas por este aumento son Almería y Málaga (entre un 10 % y más del 2% de la superficie provincial respectivamente), que hacen llegar las tierras afectadas a más del 50% del territorio en el caso de Almería y a más de un 8 % en el caso de Málaga. En ambos casos el crecimiento se ha producido sobre áreas calificadas inicialmente como potenciales.

Las diferencias, en el resto del territorio no superan en ningún caso al 1% de las respectivas superficies provinciales, resultando poco significativos. Sí se detectan tendencias de afectación en Huelva y Sevilla con incrementos de superficies potencialmente afectadas en casi un 6% del total provincial.

En cualquier caso, la desertificación actual sólo tiene una alta significancia para el periodo 1956-2003 en las provincias de Almería, Granada y Málaga con una media de superficie provincial afectada que representa respectivamente el 52 %, 17% y 7%.

La evolución del clima modelizada en las proyecciones al 2040-2070 y 2100, si se confirmara, muestra una tendencia ascendente de los territorios afectados por los problemas de desertificación para toda Andalucía registrándose los mayores incrementos, en valor absoluto, en las provincias de Granada y Málaga donde se alcanzarían superficies de afectación superiores al 25 y 16,5 % del total provincial.

El resto de las provincias andaluzas registrarían incrementos relativos importantes, en algunos casos del 300 %, pero, en términos absolutos, no superaría al 4,5 % de afectación provincial en el caso más desfavorable.

Por otra parte, el análisis de la sensibilidad a la desertificación de las tierras de Andalucía (Figura 7) muestra el fuerte riesgo a que está sometida la región. En todas las situaciones, prácticamente el 100 % del territorio está englobado en la clase Frágil y sobre todo, en la Crítica (Tabla 2).

Destaca la reducción de las áreas críticas registrada en los escenarios 1999 y 2003 respecto a la situación de 1956, hecho en el que las políticas de protección sobre el medio establecidas por las autoridades ambientales tienen gran incidencia.

Pero esta mejoría se torna irrelevante con los cambios climáticos modelizados en las proyecciones 2040, 2070 y 2100. La fuerte presión climática hace que las áreas críticas avancen progresivamente hasta alcanzar a un 87 % del territorio andaluz, sólo manteniéndose en una situación de fragilidad los reductos de Cazorla, Grazalema, Alcornocales, Andujar y Despeñaperros.

Este aumento de la sensibilidad de los ecosistemas toma especial relevancia en todas las provincias occidentales y en Jaén, destacando Córdoba y Sevilla que llegan a alcanzar similares niveles de fragilidad que Granada y Almería.

La conjunción de ambos diagnósticos multitemporales en una única serie de mapas de Riesgos de Desertificación (Figura 8) sintetiza la incidencia de este fenómeno sobre las tierras de Andalucía en conjunción con la evolución de la presión que ejercen los distintos factores de riesgo observándose cómo las áreas desertificadas y potencialmente desertificables van avanzando por todo el sureste andaluz mientras todo el territorio se va viendo sometido a un progresivo aumento de los factores de riesgo (Tabla 3).

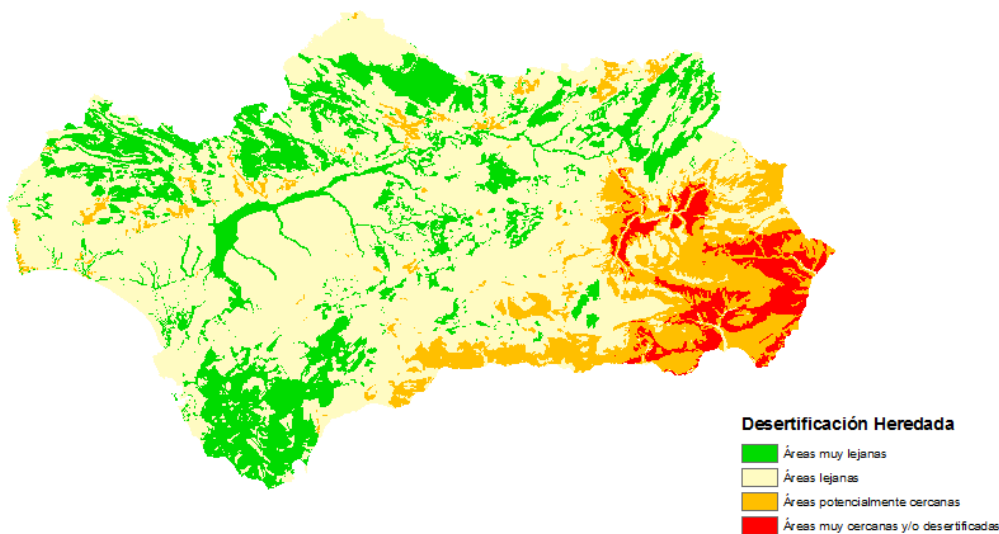


Figura 5.- La Desertificación Heredada

CONCLUSIONES

Los resultados muestran que la degradación de las tierras, salvo en el caso de actuaciones puntuales especialmente agresivas, se produce de una manera gradual y progresiva a lo largo de periodos de tiempo prolongados, de tal manera que la percepción general del problema supera los cambios generacionales dificultando la toma de conciencia y la visión general del mismo.

Tan importante como el crecimiento de las áreas desertificadas se muestra el crecimiento de las áreas potencialmente desertificables como indicador de las zonas donde hay que concentrar las actuaciones correctoras, en las zonas de afección crónica como es Almería y Granada, el crecimiento de las superficies desertificadas se produce a expensas de las áreas diagnosticadas como potencialmente desertificables.

Es destacable señalar cierto paralelismo encontrado en la evolución de la desertificación con la evolución de las zonas desérticas: a partir de un núcleo especialmente desertificado, estas se va expandiendo por las áreas fronterizas que sufren ciclos periódicos de afectación tal y como se puede observar en la serie de mapas de escenarios y proyecciones de los Riesgos de Desertificación (Figura 8).

La estrategia propuesta de seguimiento y proyección al futuro de los procesos de desertificación en el núcleo de la Red de Información Ambiental Andalucía mediante herramientas SIG se muestra, no solo como una eficaz herramienta de diagnóstico, sino como la garantía de seguimiento y delimitación de las áreas afectadas y que servirán para centrar los esfuerzos de prevención y mitigación que contemplan los distintos planes estratégicos que rigen las actuaciones de la Consejería de Medio Ambiente, especialmente del Plan Andaluz de Control de la Desertificación, actualmente en fase de borrador.

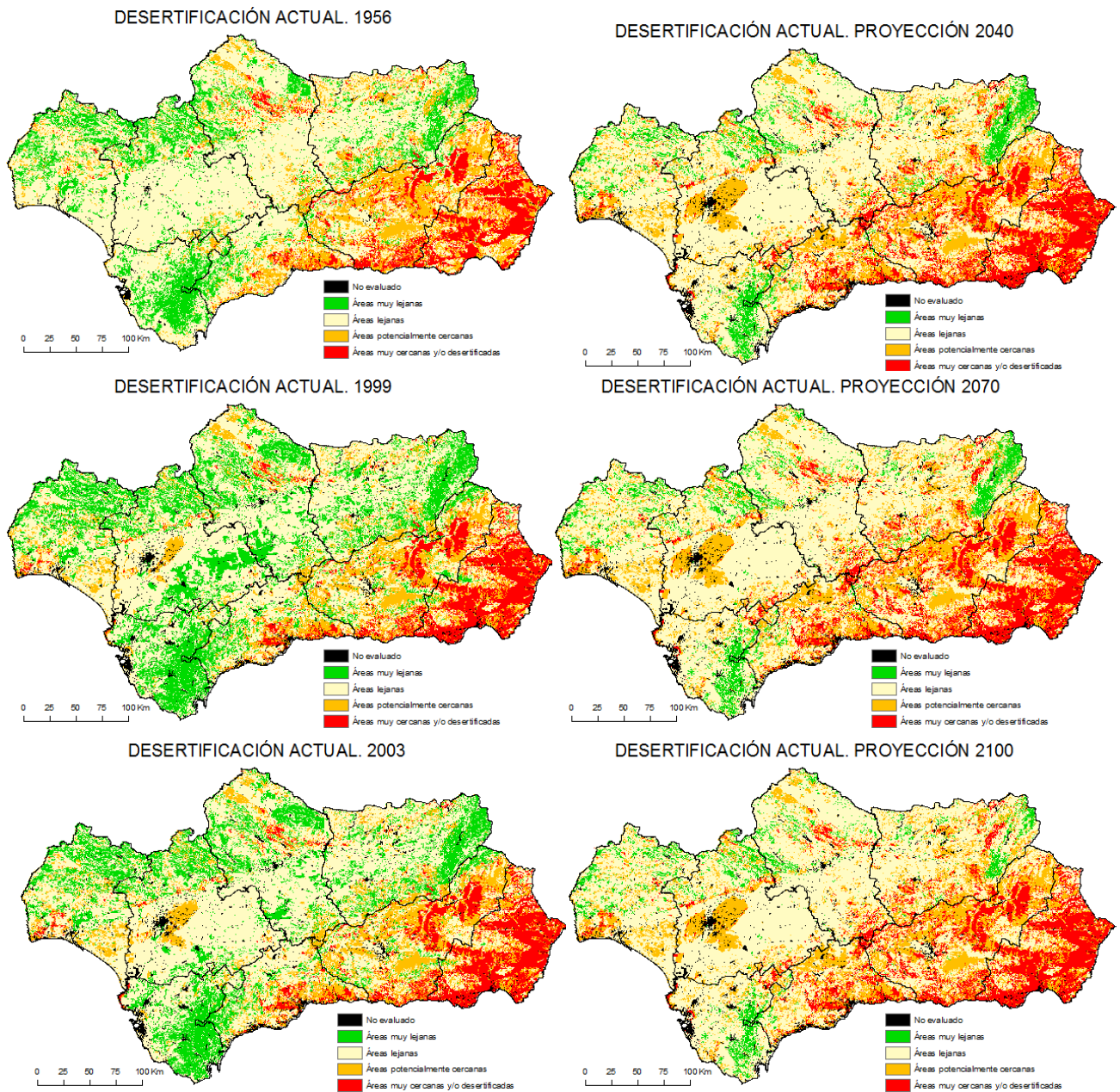


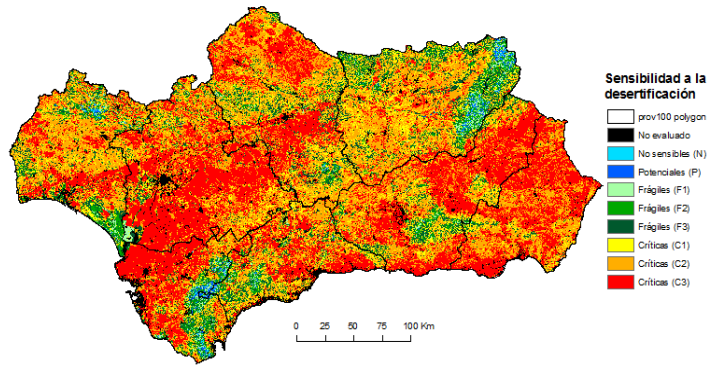
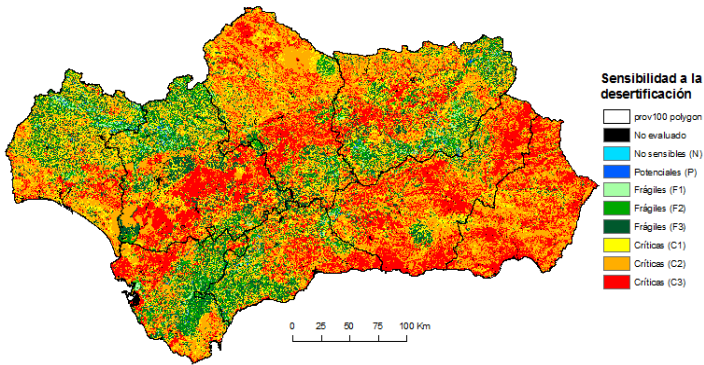
Figura 6.- Evolución de la Desertificación Actual

Tabla 1.- Evolución de las superficies afectadas por la Desertificación Actual (% sobre superficie regional)

ESCENARIO	1956	1999	2003	2040	2070	2100
No evaluado	0,95	2,84	3,09	3,09	3,09	3,09
Áreas muy lejanas	15,15	23,18	18,82	6,66	6,18	4,96
Áreas lejanas	57,89	50,17	52,48	56,19	56,46	57,28
Áreas potencialmente cercanas	17,40	14,88	16,04	21,17	21,25	21,35
Áreas muy cercanas y/ desertificadas	8,61	8,93	9,57	12,89	13,02	13,32

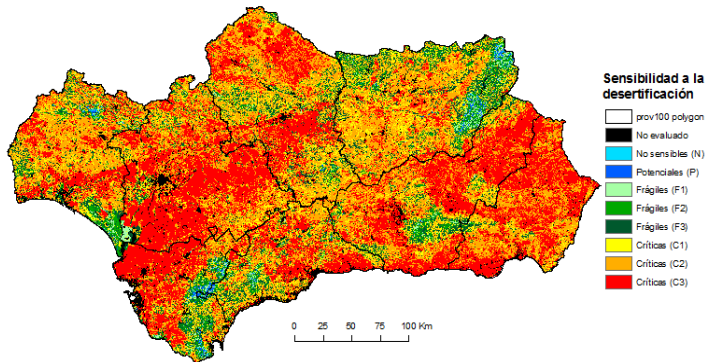
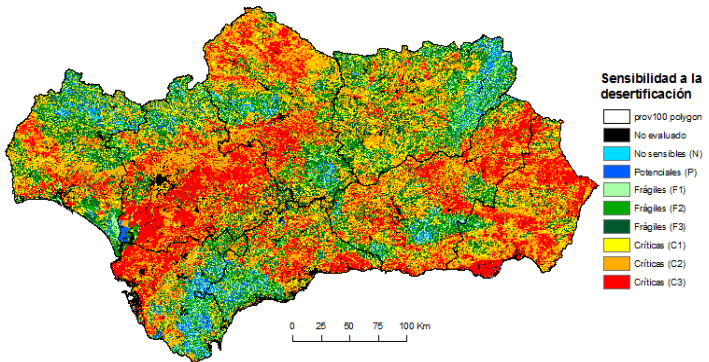
SENSIBILIDAD A LA DESERTIFICACIÓN (MEDALUS). Escenario 1956

SENSIBILIDAD A LA DESERTIFICACIÓN (MEDALUS). Proyección 2040



SENSIBILIDAD A LA DESERTIFICACIÓN (MEDALUS). Escenario 1999

SENSIBILIDAD A LA DESERTIFICACIÓN (MEDALUS). Proyección 2070



SENSIBILIDAD A LA DESERTIFICACIÓN (MEDALUS). Escenario 2003

SENSIBILIDAD A LA DESERTIFICACIÓN (MEDALUS). Proyección 2100

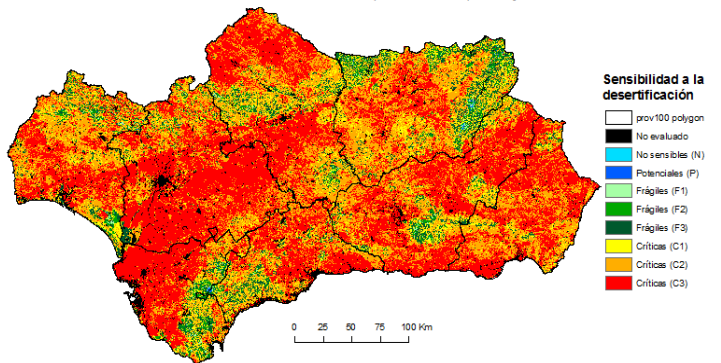
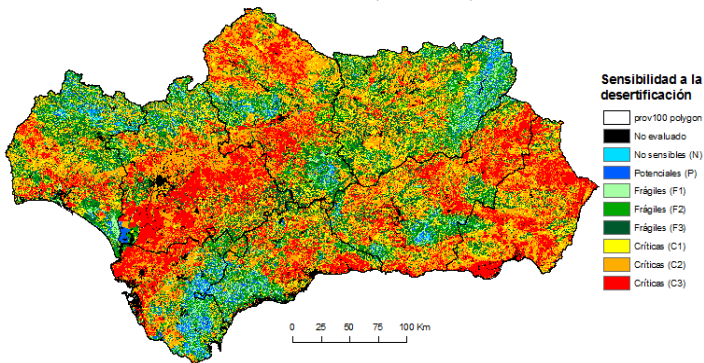


Figura 7.- Evolución de la Sensibilidad a la Degradación-Desertificación

Tabla 2.- Evolución de la Sensibilidad a la Degradación-Desertificación (% sobre superficie regional)

ESCENARIO	1956	1999	2003	2040	2070	2100
No evaluado	1,09	3,22	3,49	3,49	3,49	3,49
No sensibles	0,00	0,79	0,68	0,15	0,09	0,01
Potenciales	0,32	3,02	2,76	0,59	0,42	0,07
Frágles	22,33	32,48	31,89	14,18	13,71	8,72
Críticas	76,26	60,49	61,18	81,59	82,29	87,71

BILIOGRAFÍA

Empresa Nacional Adaro (1983): *Estudio del Equilibrio Erosivo en Andalucía*, sin publicar.

Fernández-Palacios, A.; Castilla, E.; Zamorano, L.; Jurado J.; Ruíz, L.; Frieyro, E.; Moreira, J. M.(2005): “Mapa de Usos y Coberturas Vegetales”, *Atlas de Andalucía. Tomo II*.

IGME (1988). *El Agua en Andalucía*.

IGME (1998): *Atlas Hidrogeológico de Andalucía*.

López Bermúdez, F. (2001): “El riesgo de desertificación”, *Agricultura y Desertificación*, Ed Mundi-Prensa, 2001.

UNCCD (1994): Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación

IARA-CSIC (1989): *Mapa de Suelos de Andalucía*.

Kosmas, C. et Al. (1999): *Manual on key indicators of desertification....* The MEDALUS project. European Commission, Brusseles.

Moreira, J. M.; Rodríguez, M. (2005): “Mapa de Capacidad de Uso y Erosión Edáfica”, *Atlas de Andalucía. Tomo II*.

Moreira, J. M.; Rodríguez, M. (2005): “Mapa Geomorfológico de Andalucía”, *Atlas de Andalucía. Tomo II*.

Moreira, J. M.; Rodríguez, M.; Zamorano, M.D. (2005): Diagnóstico de la Desertificación en Andalucía, *XI Congreso de Teledetección*.

Moreira, J. M.; Gámez, M.; Caturla, C.; Frieyro, E.; Márquez, M.; Solis, J.M.; Santana, J.M. (2007): *Guía Técnica del Mapa de Usos y Coberturas Vegetales 1/25.000*.

Quijada, F. J., Delgado, J. M., Bonet, F. J., Moreira, J. M. (2005): “Mapa de Biodiversidad”, *Atlas de Andalucía. Tomo II*.

Rivas-Martínez, S.(1987): *Mapa de Series de Vegetación de España*, ICONA.