

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE BAJA CALIFORNIA



INSTITUTO DE INVESTIGACIONES OCEANOLÓGICAS

FACULTAD DE CIENCIAS

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

DOCTORADO EN MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO

**Estrategia para el estudio y gestión de la desertificación y
bases para el monitoreo en el mediterráneo
latinoamericano con estudios de caso en Chile y México**

Presenta:

ANA ISABEL HUAICO MALHUE

ENSENADA, BAJA CALIFORNIA
MAYO, 2014

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE BAJA CALIFORNIA

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES OCEANOLÓGICAS

FACULTAD DE CIENCIAS

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

DOCTORADO EN MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO

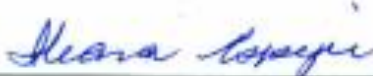
TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTORA EN MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO

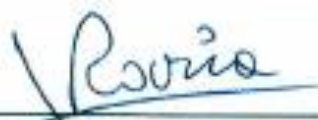
Presenta

ANA ISABEL HUAICO MALHUE

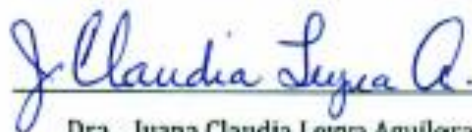
Aprobado por:



Dra. Martha Ileana Espejel Carbajal



Dr. Jaime Fernando Rovira Soto



Dra. Juana Claudia Leyva Aguilera



Dr. Luis Walter Daessle Heuser



Dra. María Concepción Arredondo García

Ensenada, Baja California, Mayo 2014

Con cariño a mi familia

Agradecimientos.

A la Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica del Gobierno de Chile (CONICYT) y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología del Gobierno de México (CONACYT), por el apoyo brindado para realizar esta investigación.

A la Universidad Autónoma del Estado de Baja California, en especial al Instituto de Investigaciones Oceanológicas y al Comité de Posgrado, por la oportunidad, acogida y confianza, para que se realizara esta tesis.

A mi Directora Dra. Ileana Espejel, una gran maestra de quien aprendí mucho. Fue un venir y devenir de metodologías, pruebas y modelos. Creo que ahora tengo a una gran amiga, que me apoyó en los momentos más difíciles y gracias a eso nunca me sentí sola, fue la mejor directora de tesis que pude tener.

A mi Codirector Dr. Jaime Rovira, por la confianza y por la apuesta que hizo por mí, por estar conmigo durante todo este tiempo, agradezco sus correcciones siempre asertivas, su apoyo, sus conversaciones llenas de sabiduría y sus consejos para escribir.

A la Dra. Claudia Leyva Aguilera, por ser mi apoyo siempre, por aportar ideas para que siempre lo hiciera mejor y me fuera bien, al Dr. Walter Daessle que fue fundamental para obtener los resultados del caso mexicano y a la Dra. Concepción Arredondo por su crítica constructiva, fue un honor trabajar con ustedes.

A otra gran maestra y amiga que aunque no estuvo en mi comité fue fundamental para entender los procesos, los indicadores y la historia de la desertificación en Europa; a mi querida Dra. Asunción Romero Díaz de la Universidad de Murcia en España, quien me acogió en mi estancia doctoral y me ha brindado su amistad y apoyo.

A mis padres, quienes me educaron con amor y siempre me han apoyado en todo este viaje de superación académica y personal; son unas personas maravillosas que a pesar de la distancia nunca han dejado de estar conmigo.

A Margarita, José, Anita, Javierita, Carlos, Constanza y Galito, por alegrarme la vida, por poder contar siempre con ellos y por estar ansiosos de que regrese a casa.

A mis amigos de toda una vida, en especial a Jaime y Yadia, que siempre los siento presentes a pesar de la distancia.

A mis amig@s y compañeros del doctorado, Dinora, Santa, Adriana, José Luis, Rebeca, Aldo, Alex, Tere, Sergio, Pablo, Érika, Miriam, Blanca, en especial a mi gran amiga Lorena Poncela que, aunque ya emprendió otros rumbos siempre me ha apoyado.

A mi vecina y compañera de doctorado Ivonne Posada, por seguirme en todas las locuras que se me ocurren.

A mi querido y gran amigo lalo, por su paciencia, compañía y cariño, por compartir sus amistades conmigo, por mostrarme otro lado de la vida y otras perspectivas. Te deseo mucho éxito en tu doctorado, ¡gracias lalito!.

A Aarón Desiga, por todo su apoyo para la construcción de uno de los productos de esta tesis, por su amistad y buena onda, por preocuparse por mi no importando la hora.

A las hermosas personas que conocí en el Taller de Ciencia para Jóvenes que fue una experiencia increíble: Claudia, Lily, Gibraham, Carlos, Aldo y quiero agradecer especialmente a mi amigo Duilio por toda su preocupación para que yo esté bien, sin lugar a dudas de los mejores amigos que hice en Ensenada.

A los amigos de la vida en México: Karina y familia, Mari Jo, Miguel Ángel, Cristian, Heidy, Blanquita, Nena, Leo, Gaby, Violetita, Jenny, Luz y a los que me faltaron, por el apoyo y amistad sincera.

A mis amigos de la vida en Murcia: Miguel Ángel, Salvador, Alfredo, Sole, Nani y Marisol, por alegrarme los días en Murcia.

A quienes me acogieron en su casa los primeros meses de doctorado a mi madre postiza Dra. Evarista Arellano y familia.

A las personas que ya no están, en especial a mi abuelo y a mi tía, que se fueron estando yo acá...gracias por formar parte de mi vida.

Al Dr. Roberto Martínez (Q.E.D.) quien fue el primero que me animó a dar este salto a Ensenada y a mi querido Rodolfo Espejo (Q.E.D.) mi amigo, que de seguro me debe de estar cuidando desde el cielo, como lo hacía estando en vida.

Contenido

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
CAPÍTULO I: UNA MIRADA HACIA LAS TIERRAS SECAS Y LA DESERTIFICACIÓN ...	5
1.1 Las tierras secas y la desertificación.....	6
1.2 Las características de las tierras secas	9
1.3 Tierras secas en América Latina y el Caribe.	11
1.3.1 El clima mediterráneo	12
1.4 Degradación de la tierra y desertificación	14
1.5 El Riesgo a la desertificación	14
1.6 Conclusión	18
1.7 Referencias.....	18
CAPÍTULO II: EL PROBLEMA Y METODOLOGÍA GENERAL	24
2.1 El problema de investigación	25
2.2 Objetivos.....	26
2.2.1 Objetivo general.....	26
2.2.2 Objetivos específicos	26
2.3 Aproximación a las áreas en estudio.....	28
2.3.1 Zonas áridas en Chile y el peligro a desertificarse	28
2.3.2 Zonas áridas en México y el peligro a desertificarse	31
2.4 Metodología general de la investigación.....	36
2.4.1 Diseño de una estrategia para el estudio y gestión de la desertificación y su relación con el modelo de riesgo.....	36
2.4.2 Diseño de un modelo de riesgo.....	39
2.5 Referencias	57
CAPÍTULO III: RESULTADOS	64
3.1 Diseñar una estrategia para el estudio y gestión de la desertificación.	65
3.1.1 Una revisión de la investigación sobre desertificación y una propuesta metodológica para el monitoreo y gestión	65
3.1.2 Una revisión de indicadores de desertificación en estudios de casos en el mundo..	97

3.2 Diseño de un modelo de riesgo (Fase 1 de la estrategia del apartado 3.1.1).....	124
3.2.1 Levantamiento de información primaria para suplir la falta de datos hidrológicos. ...	124
3.2.2 Aplicación del modelo base y el índice de riesgo a la desertificación.....	146
3.2.3 Experimento con percepción social	166
CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES.....	177
4. Conclusiones.....	178
5. ANEXOS.....	185
ANEXO 1: 134 ESTUDIOS DE CASOS	186
ANEXO 2:DISEÑO Y PUBLICACIÓN DE SITIO WEB.....	196
ANEXO 3: LISTADO DE INDICADORES CLASIFICADOS.....	198
ANEXO 4: SUBÍNDICES MANEADERO, MEXICO	224
ANEXO 5: SUBÍNDICES DEL PUANGUE, CHILE	227

Índice de Figuras

Figura 1: Mapa de las tierras secas en el mundo.	9
Figura 2: Cambios en el paisaje árido del sector de Ranchillo en la Región Central de Chile, fotografía de 1980 y desde otra perspectiva, pero el mismo lugar en 2009.	10
Figura 3: Porcentaje de zona árida por país, Centro del Agua para Zonas Áridas de América Latina y el Caribe (CAZALAC, 2006).	12
Figura 4: Mapa preliminar de la desertificación en Chile, CONAF (1999).	29
Figura 5: Ubicación del Puangue, área de estudio en Chile.	30
Figura 6: Mapa de las tierras secas de México.	31
Figura 7: Ubicación de Maneadero, área de estudio en México.	34
Figura 8: Procesos de degradación del suelo en las tierras secas de México.	35
Figura 9: Estrategia para identificar el modelo y los indicadores de riesgo a la desertificación.	37
Figura 10: Pirámide para construir índices (izquierda) y personas que los generan o utilizan (derecha). El ancho de las pirámides indica la cantidad. Adaptada de Robinson, C., S/F. Parks Canada Agency.	39
Figura 11: Diagrama de variables relacionadas con la desertificación y sus relaciones.	51
Figura 12: Pasos metodológicos y relación con los niveles sucesivos de la información.	57
Figura 13 : Niveles de desarrollo económico y distribución de los estudios de casos, base cartográfica www.naturalearthdata.com	71
Figura 14: Instituciones que publicaron los estudios de casos sobre desertificación en el mundo.	73
Figura 15: Número de estudios de casos y nivel de integración.	76
Figura 16: Número de variables utilizadas en las 134 publicaciones con estudios de caso sobre desertificación.	77
Figura 17: Tipos de estudios según los datos de gabinete o de campo.	78
Figura 18: Esquema de flujos de información para la toma de decisiones.	83
Figura 19: Diagrama sociedad, problemas y desertificación (SPD), las fases metodológicas conceptuales para alcanzar los objetivos de la gestión de la desertificación.	86
Figura 20: Pasos metodológicos para la gestión de la desertificación.	88
Figura 22: Número de publicaciones y climas.	103
Figura 23: Revistas en donde se han publicado los estudios de casos.	104
Figura 24: Porcentaje de uso de indicadores en las publicaciones por tipo y variables.	105

Figura 25: Número de indicadores y tipos de acuerdo al modelo PER.....	105
Figura 26: Diagrama de dispersión, variables más utilizadas y relación con los indicadores más frecuentemente utilizados por variable.	111
Figura 27: Tendencia de las precipitaciones (mm anuales) en Maneadero, Baja California, México. (CICESE, 2014)	126
Figura 28: Tendencia del promedio de total de sólidos disueltos en Maneadero (CESPE).....	127
Figura 29: Tendencia del nivel estático del acuífero de Maneadero, Baja California, México. (CESPE).	128
Figura 30: Volumen de extracción de agua en m ³ . Fuente: CONAGUA, 2010.....	128
Figura 31: Sensibilidad hídrica a la desertificación del acuífero de Maneadero.....	132
Figura 32: Ubicación de la cuenca del Puangue en la Región Metropolitana de Santiago de Chile.....	138
Figura 33: Cambio de uso de suelo y disminución de la calidad de la vegetación por tala de la vegetación nativa. Se muestra una foto de los años 80`y una fotografía del año 2009 del mismo lugar.....	146
Figura 34: Superficies según diferentes tipos de calidad según la aplicación de la metodología de sensibilidad.....	148
Figura 35: Áreas ambientalmente sensibles a la desertificación en el Puangue.....	149
Figura 36: Superficie en hectáreas para el cultivo de la vid. Fuente: INE, 2009.	150
Figura 37: Cartografía del riesgo a la desertificación en la cuenca del Puangue.	154
Figura 38: Superficies según diferentes tipos de calidad según la aplicación de la metodología de sensibilidad.....	156
Figura 39: Sensibilidad ambiental a la desertificación en Maneadero.	157
Figura 40: Población en Ensenada (INEGI, 2010).....	159
Figura 41: Niveles de riesgo a la desertificación en Maneadero.	161
Figura 42: Modelo del proceso de desertificación (Adaptado de Oladipo, 1993).	163
Figura 43: Productos cartográficos para el subíndice hídrico.	172
Figura 44: Mapas de riesgo.	173

Índice de Tablas

Tabla 1: Clasificaciones climáticas.	8
Tabla 2: FAO, Clasificación de tierras secas (longitud del período de crecimiento).	8
Tabla 3: Riqueza florística de los diferentes territorios mediterráneos y sus géneros más característicos. Fuente: Costa (2007).	13
Tabla 4: Algunas experiencias de modelos, sistemas de monitoreo y evaluaciones de la desertificación.	17
Tabla 5: Oportunidades y limitaciones del modelo de áreas ambientalmente sensibles a la desertificación propuesto por Kosmas et al., 1999.	43
Tabla 6: Indicadores y ponderadores.	46
Tabla 7: Tipos de áreas sensibles y rangos.	47
Tabla 8: Coberturas de información.	52
Tabla 9: Indicadores y ponderadores con los que se construye el índice de riesgo. En azul los nuevos indicadores con los que se forman los subíndices agregados al modelo de Kosmas et al. (1999).	54
Tabla 10: Rangos de evaluación por cada variable.	55
Tabla 11: Rangos para la evaluación del riesgo a la desertificación en El Puangue, Chile y Maneadero, México.	55
Tabla 12: Clasificación de la literatura encontrada para revisar investigaciones sobre desertificación en el mundo.	70
Tabla 13: Superficie de zonas áridas en millones de hectáreas y porcentajes por continentes. Fuente: FAO, 2004.	72
Tabla 14: Evolución de las definiciones de desertificación. Ejemplos tomados de una revisión de 134 publicaciones.	75
Tabla 15: Propuesta de pasos metodológicos para la toma de decisiones (Adaptado de Schwilch et al. 2009).	82
Tabla 16: Ejemplos de tipos de indicadores, según tipo de estudio. Sólo en eareas desertificadas existen indicadores de impacto.	85
Tabla 17: Clasificación de la literatura encontrada para revisar las investigaciones sobre desertificación en el Mundo.	102
Tabla 18: Indicadores biofísicos encontrados en los estudios de casos.	108
Tabla 19: Indicadores socioeconómicos encontrados en los estudios de casos.	110
Tabla 20: Cuadro metodológico para la selección de indicadores en desertificación, basado y adaptado de Zall and Rist (2005).	114
Tabla 21: Indicadores más frecuentemente usados que se relacionan con los indicadores de impacto propuestos.	116
Tabla 22: Indicadores referentes a hidrología utilizados en los 134 artículos seleccionados para este análisis.	125
Tabla 23: Datos y fuentes para definir un indicador hidrológico en México.	129

Tabla 24: Indicadores, parámetros y valores.....	130
Tabla 25: Clases y tipos de sensibilidad hidrológica.....	131
Tabla 26: El agua y la desertificación, Mu`taz Al-Alawi (2008).....	133
Tabla 27: Superficie en ha para cultivos anuales y permanentes en las provincias de la Región Metropolitana.....	151
Tabla 28: Empleo en la Región Metropolitana.	151
Tabla 29: Consumo de agua (m/s).....	152
Tabla 30: Superficie regada según tipo de riego.....	152
Tabla 31: Datos de la Encuesta de Caracterización Socioeconómica 2011.....	154
Tabla 32: Tasas de cambio de uso de suelo para Maneadero.....	158
Tabla 33: Superficie sembrada en el Valle de Maneadero, Año agrícola 2012. Por ciclo y modalidad de cultivo.....	159
Tabla 34: Porcentaje de pobreza patrimonial año 2008 y Promedio de años de escolaridad	161
Tabla 35: Variables, indicadores, parámetros y pesos. En azul se muestra el indicador sustituido y el nuevo indicador.	169
Tabla 36: Rangos de evaluación por cada aspecto.....	170
Tabla 37: Rangos para la evaluación del riesgo en El Puangue.	170
Tabla 38: Niveles de riesgo diagnosticados y hectáreas.....	171

RESUMEN

El concepto de desertificación se refiere a la degradación de la tierra en zonas secas. El presente estudio es el producto de un esfuerzo por conocer los procesos de desertificación en las zonas de tipo mediterráneo (semiáridas) en Chile y México en el marco de la gestión para la lucha contra la desertificación, cuyo objetivo es el diseño de una Estrategia para el estudio y gestión de la desertificación para el mediterráneo latinoamericano y su aplicación. Metodológicamente este estudio se puede dividir en dos grandes pasos metodológicos: 1) Diseño de una estrategia para el estudio y gestión de la desertificación, 2) Diseño de un modelo de riesgo de desertificación. Se obtuvo un listado de los 129 indicadores más recurrentes y se diseñó un modelo para el estudio y gestión de la desertificación en la cual se proponen tres fases. Posteriormente se desarrolla la fase uno de la estrategia, en la cual se definió el grado de avance y riesgo a la desertificación en un caso de estudio en Chile y otro en México. Finalmente, se obtuvieron tres grandes resultados: a) Estrategia para el estudio y gestión de la desertificación, b) Modelo para la selección de indicadores, c) Modelo para la evaluación del riesgo a la desertificación para cuencas agrícolas mediterráneas latinoamericanas. De esta forma se propone una estrategia y un modelo para la evaluación del riesgo, con indicadores replicables en cuencas mediterráneas que tienen problemas de sobreexplotación de los acuíferos, agricultura intensiva y pérdida de calidad de los suelos.

Palabras claves: Desertificación, climas mediterráneos, riesgos, América Latina.

INTRODUCCIÓN

La presente tesis propone una estrategia para el estudio y gestión de la desertificación para el mediterráneo latinoamericano, además constituye la base para el monitoreo en dos estudios de caso: uno en Chile y otro en México. La investigación constituye uno de los escasos trabajos en este tema en las áreas de estudio y es la base para el inicio de trabajos comparativos, cooperativos y de monitoreo en esta zona macrobioclimática de América Latina a la cual llamamos Latinoamérica Mediterránea. La desertificación se define como un proceso complejo que reduce la productividad y el valor de los recursos naturales en el contexto específico de condiciones climáticas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, como resultado de las variaciones climáticas y a las acciones humanas adversas (UNCED, 1992).

Los estudios en desertificación cobran mayor sentido cuando se relacionan con la gestión integrada del fenómeno, ya que sólo se puede mejorar sostenidamente la calidad humana cuando el nivel y los patrones de uso de los recursos ecosistémicos son compatibles con las capacidades del entorno natural, así como las preferencias sociales de producción. La gestión de la desertificación consiste en la integración de las expectativas sociales y las capacidades de producción ecológicas y del papel de soporte de los recursos ecosistémicos, reconociendo explícitamente la distribución espacio-temporal de los recursos hídricos.

Martín de Santa Olalla (2001), menciona que la mayor causa de la desertificación es la degradación de los geosistemas por el impacto del hombre, por lo que tal como lo menciona Abraham (2007), es un proceso grave que afecta la base productiva y a la sociedad de prácticamente todos los países con situaciones específicas de índole natural, socioeconómica y política.

De acuerdo con López (2001) después de los bosques tropicales, las tierras mediterráneas son las más frágiles del planeta, tanto por sus condiciones naturales como por la historia de intervención humana a los procesos de desertificación. En este contexto menciona que programas y proyectos estiman que durante los próximos 40 a 50 años, gran parte de las áreas áridas, semiáridas y subhúmedas secas mediterráneas pueden registrar un aumento de las temperaturas y del albedo y una significativa

disminución de las precipitaciones y acentuación de la aridez y las sequías, que pueden incrementar la fragilidad de los ecosistemas y acentuar los procesos de desertificación.

La actual intensificación agrícola de las zonas mediterráneas latinoamericanas y su condición como zonas hostpost, es decir que son zonas prioritarias para la conservación de la biodiversidad, las hace aún más relevantes para investigar y sobre todo conocer cómo los procesos de degradación las están afectando.

Con respecto a América Latina Morales et al., (2005) menciona que: “La situación es seria en prácticamente todos los países de la región. En Argentina, México y Paraguay, más de la mitad del territorio se encuentra afectado por problemas vinculados a la degradación y desertificación. En Brasil, en la región del nordeste, donde vive una parte significativa de su población, también el territorio padece de problemas similares. A su vez, en Bolivia, Chile, Ecuador y Perú, se estima que entre un 27% y un 43% del territorio sufre problemas de desertificación, lo que afecta a una parte muy importante de su población. El caso más grave es el de Bolivia, donde seis millones de personas, vale decir, el 77% de la población del país, viven en áreas afectadas”.

El objetivo de la tesis es diseñar una estrategia para el estudio y gestión de la desertificación, lo anterior como marco metodológico general para enfrentar cualquier estudio, plan o programa en desertificación. El trabajo de investigación va más allá y aplica un modelo de riesgo para llevar a cabo la fase 1 de la estrategia en la zona Maneadero en México y en El Puangue en Chile; Lo anterior constituye la base para comenzar cualquier plan o programa de monitoreo en desertificación en ambas áreas de estudio.

La tesis comienza con capítulo en donde se contextualiza y definen los principales conceptos acerca del tema; una vez conocidos las principales problemáticas asociadas a la desertificación se plantea el problema, la metodología y el contexto de las áreas en estudio en el capítulo II. Posteriormente se presenta un capítulo con dos resultados. El primer resultado se obtiene a través de la literatura que consistió en una revisión extensa y minuciosa de artículos científicos, con la cual se plantea la estrategia y que a su vez presenta varios matices, como lo es la revisión y clasificación de indicadores, la

sistematización de ellos y una propuesta para su selección que servirán de insumos para el monitoreo.

En un posterior apartado de resultados se realizan pruebas con la aplicación de un modelo de sensibilidad a la desertificación que sirve de base para la construcción del índice de riesgo para ambas áreas de estudio (Maneadero en México y El Puangue en Chile). El modelo base seleccionado es aplicable en zonas con clima de tipo mediterráneo (Environmental Sensitive Areas, ESAS) cuyas mayores bondades son su flexibilidad en la identificación de los indicadores disponibles y/o pertinentes, se considera un buen sistema de alerta temprana que permite organizar nuevas formas del modelo basándose en el área de estudio, y permite identificar estrategias de mitigación. En el estudio se realizan varias pruebas con indicadores a diferentes escalas para la evaluación del riesgo, se experimenta con resultados que utilizan un indicador obtenido a través de la percepción social, y se generan diagnósticos básicos de las características hidrológicas.

Para lograr el objetivo de la aplicación de un modelo de riesgo adaptativo, se tuvo que generar información primaria y varias de las cartografías base para suplir la falta de indicadores hidrológicos que sirvieran de insumos en la elaboración del índice de riesgo. En este contexto se hicieron dos trabajos minuciosos relacionados con la hidrología (Maneadero en México y El Puangue en Chile), además de fotointerpretación de fotografías aéreas y digitalización de cartografías base. Finalmente éstas zonas latinoamericanas mediterráneas son evaluadas y constituyen el primer paso para continuar estudiando y conociendo este importante fenómeno en esta zona macrobioclimática.

**CAPÍTULO I: UNA MIRADA HACIA LAS TIERRAS SECAS Y LA
DESERTIFICACIÓN**
“El estado del arte”

1.1 Las tierras secas y la desertificación

La desertificación es un tema interesante, porque implica necesariamente la interdisciplinariedad y la aportación de los académicos a la solución de problemas importantes los cuales, cada vez más, se agudizan en ciertas partes del mundo.

Entre las mayores dificultades que existen al comenzar a estudiar la desertificación son los problemas conceptuales, desde su definición por la tendencia a llamar desertificación a cualquier estudio de degradación de la naturaleza como son deforestación, erosión, sobrepastoreo, intensificación agrícola, etc., indistintamente de las características climáticas de los diferentes ecosistemas. Por ello, es importante iniciar un trabajo sobre el tema con una definición de desertificación. Para este estudio se ha tomado la definición con mayor consenso mundial, la de La Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación: “la desertificación es la degradación de tierras en zonas áridas, semiáridas, y subhúmedas secas resultante de diversos factores, entre ellos las variaciones climáticas y las actividades humanas (UNCED 1992)”.

Asimismo, afinamos nuestra definición, con el término de tierras secas (drylands en inglés) porque engloba a tres tipos climáticos caracterizados por la escasez de agua: árido, semiárido y subhúmedo seco. Las tierras secas se definen generalmente en términos climáticos como terrenos con escasas, irregulares e inconsistentes niveles de lluvia (100- 600 mm anuales) y el saldo negativo entre estas y las tasas de evapotranspiración. Las altas temperaturas durante la temporada de lluvias causan la pérdida de la lluvia por la evaporación y la habitual intensidad de las tormentas (que generalmente son con una estacionalidad muy marcada y por pulsos) y la escasa cubierta vegetal hace que gran parte de la lluvia escurra o se filtre al subsuelo. El déficit potencial de agua en los lugares con tierras secas afecta a ecosistemas naturales y a los gestionados lo que limita la producción de cultivos, forraje y otras plantas útiles y tiene un gran impacto en la ganadería y por tanto en los seres humanos (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Es decir, en las tierras secas, el agua no sólo es escasa en términos absolutos, sino también escasa para usos naturales y humanos (United Nations, 2000).

Para estudiar la desertificación se recomienda conocer los ecosistemas particulares en donde ocurre y documentar su importancia a nivel global.

Un elemento básico en todas las disciplinas que se aproximen al estudio de la desertificación es el clima. Las dos clasificaciones más utilizadas a nivel mundial son: la de Köppen (1918) y la de Thornthwaite (1949). Su aplicación utiliza fórmulas y definiciones muy simples que son usadas hasta el día de hoy:

Los cinco principales grupos climáticos de Köppen se designan con letras mayúsculas como sigue (Strahler & Strahler, 1997):

Clima tropical lluvioso **(A)**: La temperatura media de cada mes está por encima de los 18 ° C . Estos climas no tienen estación de invierno. La precipitación anual es elevada y excede a la evaporación anual.

Clima seco **(B)**: La evaporación excede a la precipitación sobre el promedio a lo largo del año. No hay exceso de agua; por lo que no hay corrientes de agua permanentes en este tipo de zonas.

Clima templado húmedo **(C)**: El mes más frío tiene un promedio de temperatura menor a los 18°C , pero superior a los -3 °C; al menos un mes tiene un promedio de temperatura por encima de los 10 °C. Los climas tipo C, tienen ambos: un verano y un invierno.

Climas de nieve **(D)**: El mes más frío tiene una temperatura media inferior a -3°C . La temperatura media del mes más cálido es superior a los 10°C, coincidiendo la correspondiente isoterma con el límite septentrional del crecimiento del bosque.

Climas de hielo **(E)**: La temperatura media del mes más cálido es inferior a los 18°C. Estos climas no tienen verdadero verano.

En la clasificación climática de Thornthwaite en 1949, él introduce la evapotranspiración potencial y usa otros indicadores ya conocidos como la precipitación y las temperaturas medias mensuales (Prats, 2006).

$$PE = \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{2,82 \cdot P_i}{1,8 \cdot T_i + 22} \right)^{\frac{10}{9}}$$

$$TE = 5,4 \cdot T$$

Donde:

Pi, precipitación media anual en mm

Ti, temperatura media mensual en °C

T, temperatura media anual

Los resultados obtenidos dan lugar a las siguientes clasificaciones (Tabla 1):

Tabla 1: Clasificaciones climáticas.

PE	Clima	Vegetación
>125	Superhúmedo	Bosque denso
65-125	Húmedo	Bosque semi denso
30-65	Semihúmedo	Sabana
15-30	Semiárido	Estepa
0-15	Árido	Desierto

Otra clasificación ampliamente utilizada es la que proporciona la Organización de la Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura (FAO), que se basa en zonas agroclimáticas de acuerdo a la longitud del período de crecimiento y que se define de acuerdo con el período en que ambos agua y temperatura que permiten el crecimiento de los cultivos (United Nations, 2000). Según esta definición las tierras secas se encuentran entre los siguientes rangos (Tabla 2).

Tabla 2: FAO, Clasificación de tierras secas (longitud del período de crecimiento).

1-74	75-119	120-180
Árido	Semi – árido	Seco-subhúmedo

Asimismo, interesa en particular a este trabajo las definiciones más particulares, como la utilizada para delimitar zonas áridas para América Latina por el Centro del Agua para las Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y el Caribe (CAZALAC, 2006), que se aplica a todas las subregiones de América Latina y el Caribe.

1.2 Las características de las tierras secas

La importancia productiva y estratégica a nivel mundial de las tierras secas radica en que conforman el 41.3% de la superficie del planeta y en ellas según Naciones Unidas (Sitio web: <http://www.unccd.int>) habita el 35.5% de la población mundial, poseen el 44% de todos los sistemas de cultivos del mundo, proporcionan un quinto de los suministros de alimentos, producen la mitad de los metales preciosos y contienen la mayor reserva de petróleo y gas natural en el mundo (Figura 1).

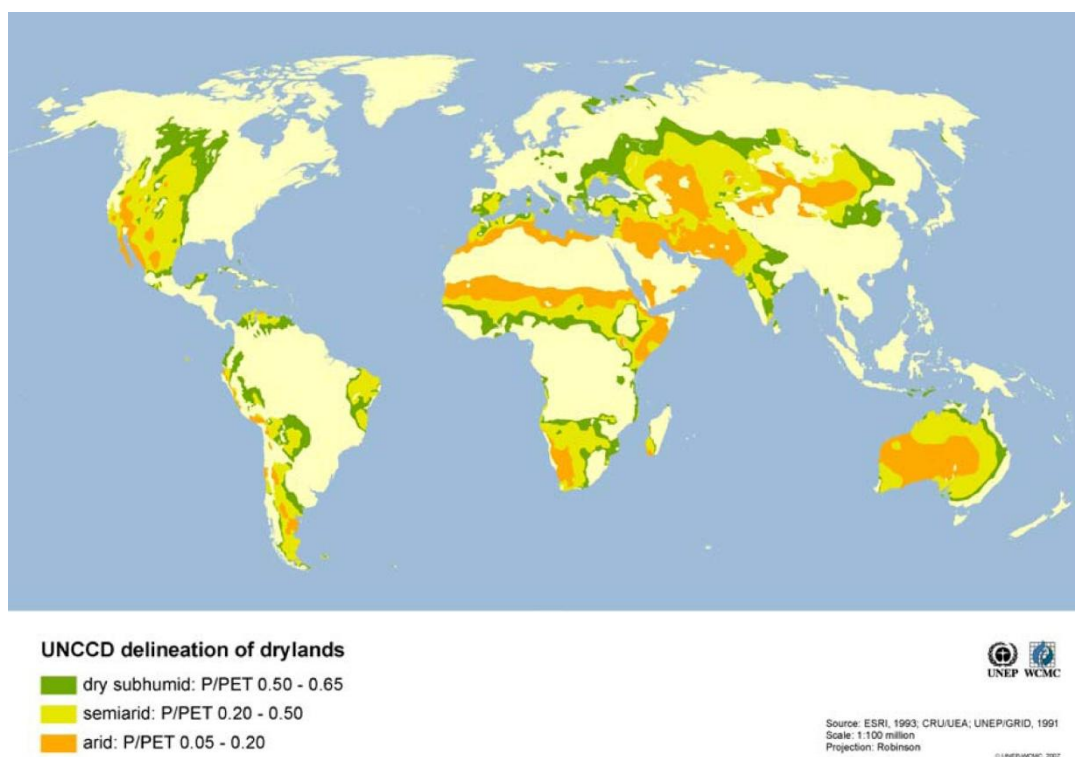


Figura 1: Mapa de las tierras secas en el mundo.

(Fuente: http://www.un.org/en/events/desertification_decade/global_drylands_map.pdf)

Asimismo, guardan un importante papel desde el punto de vista de la biodiversidad y del paisaje, ya que son hábitat para especies especialmente adaptadas a condiciones extremas, presentan una importante riqueza florística ya que tal como lo plantea el World Resource Institute (Tunstall et al., 2002) existen 234 Centros de Diversidad de Plantas en el mundo y de éstas, 39 están localizadas en tierras secas.

A pesar de una evidente falta de agua superficial, en algunas zonas áridas hay agua subterránea que ha sido intervenida históricamente para la producción agropecuaria, como se ejemplifica en una fotografía con matorrales y algunos cultivos tradicionales de pequeñas propiedades en 1980 y en 2009 con grandes plantaciones industriales de capitales privados y trasnacionales (Figura 2).



Figura 2: Cambios en el paisaje árido del sector de Ranchillo en la Región Central de Chile, fotografía de 1980 y desde otra perspectiva, pero el mismo lugar en 2009.

Datos proporcionados por la Secretariat of the United Nations Convention to Combat Desertification (2014), indican que:

“Para el 2025, 2.4 billones de personas de todo el mundo estarán viviendo en áreas sujetas a períodos intensos de escasez de agua, que puede desplazar a un máximo de 700 millones de personas para el 2030”.

“40% de los conflictos interestatales durante un período de 60 años fueron asociados con la tierra y los recursos naturales”.

“Entre 1991 y el 2000 más de 665.000 personas murieron en 2557 desastres naturales, el 90% de los cuales fueron relacionados con eventos relacionados con el agua”.

“12 millones de hectáreas de tierra productiva se vuelven estériles cada año debido a la desertificación y la sequía, lo que constituye una pérdida de oportunidad para producir 20 millones de toneladas de granos”

1.3 Tierras secas en América Latina y el Caribe.

América Latina y el Caribe tiene una superficie de 20,18 millones de km², de los cuales un 25% corresponde a tierras áridas, semiáridas y subhúmedas secas. De este total, a su vez, el 75%, es decir, unos 378 millones de hectáreas (ha), presenta serios problemas de degradación (Morales et al., 2005).

La población total de América Latina y el Caribe al terminar la primera década del siglo XXI (2010) era de alrededor a los 590 millones de habitantes, de los cuales unos 120 millones de personas (lo que equivale en torno al 20 %), son considerados rurales, de los cuales el 53% son pobres y el 30% de ellos indigentes (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2013). Parte importante vive en zonas áridas y constituyen una relevante proporción de la población total de sus países (Morales, 2005).

Datos relacionados con la desertificación indicaban según informe del año 2000 (Ovalles, 2006), que las pérdidas por erosión hídrica alcanzan 170 millones de ha en Sudamérica y 52 millones de ha en Mesoamérica; la degradación química, por el agotamiento de los nutrientes, abarcaba 80 millones de ha, según datos del año 2000, por lo que hoy en día debe ser aún mayor.

Según Ovalles (2006) las consecuencias económicas de los impactos de la desertificación en América Latina y el Caribe resultan importantes, ya que según la metodología adoptada por la ONU, los perjuicios causados por la desertificación corresponden a US\$250 por ha en áreas irrigadas, US\$40 por ha en áreas de agricultura de secano y US\$7 por ha en áreas de pastizales. Por lo tanto, las pérdidas económicas pueden llegar a US\$800 millones por año; debido a la desertificación y los costos de recuperación de las áreas más afectadas, se estimaron en US\$2000 millones durante un período de 20 años.

Con respecto a las zonas áridas datos del 2010 y según el Centro del Agua para Zonas Áridas de América Latina y el Caribe (Verbist, 2010), América Latina y el Caribe poseen una superficie aproximada de 728 millones de ha de zonas áridas y los

países que aportan el mayor porcentaje de este total son Brasil (29%) , Argentina (26%), México (18%), Chile (6%) y Bolivia (6%),

Los países con una mayor superficie de su territorio nacional árido son Argentina, México y Chile (Figura 3); a pesar de que Brasil es el que aporta mayor cantidad de superficie a las zonas áridas de América Latina, a nivel país esta área sólo representa el 25% de su territorio.

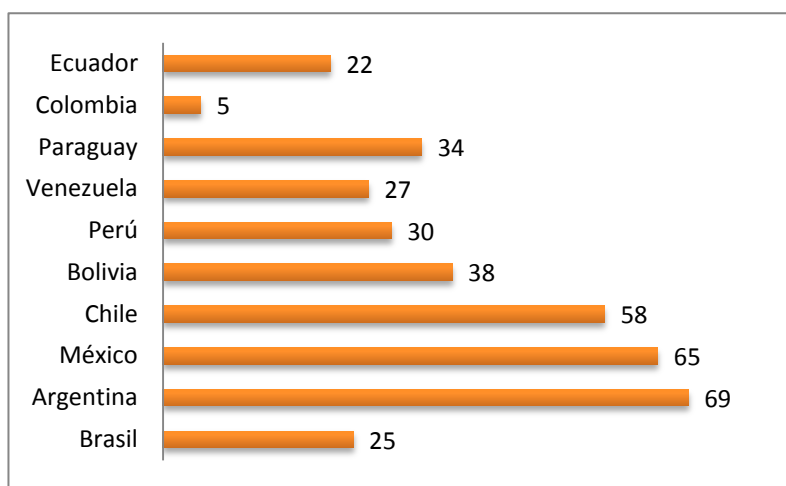


Figura 3: Porcentaje de zona árida por país, Centro del Agua para Zonas Áridas de América Latina y el Caribe (CAZALAC, 2006).

1.3.1 El clima mediterráneo

En el sistema de clasificación de Köppen mencionado anteriormente, se caracteriza porque correlaciona límites climáticos y tipos de vegetación. Este tipo de clima se presenta en cinco lugares en el mundo (Tabla 1.3) y está asociado a una vegetación arbustiva y de espinos. Strahler y Strahler (1997) hacen referencia a que el clima mediterráneo es único entre los tipos de clima (es un clima semiárido), porque su ciclo de precipitación anual se caracteriza por un invierno húmedo y un verano muy seco. La razón de este ciclo de las precipitaciones se encuentra en el movimiento hacia los polos de las celdas de alta presión subtropical durante la temporada de verano.

De acuerdo a Costa (2007), este clima se extiende tanto por el hemisferio norte como por el sur y el conjunto de las tierras que ocupan está afectado por el llamado macrobioclima mediterráneo, que se distribuye entre los 23º y los 52º de latitud norte

y sur. Presenta un claro contraste térmico estacional, que se acentúa con la continentalidad, con una irregularidad pluvial y un período de aridez estival. Forma un paisaje característico en que dominan bosques de porte modesto, matorrales y espinales. El clima mediterráneo no es uniforme, ni en las distintas partes de la tierra, ni en un mismo territorio, ya que la precipitación y la temperatura son las variables que definen los pisos bioclimáticos reflejados en las diferencias de las comunidades vegetales (Tabla 3).

Tabla 3: Riqueza florística de los diferentes territorios mediterráneos y sus géneros más característicos. Fuente: Costa (2007).

Áreas de clima mediterráneo	Sup. Km ²	Riqueza florística	% de endemismos	Géneros
Cuenca Mediterránea	2.300.000	19	21	Quercus, Pinus, Rhamnus, Viburnum, Smilax, Lonicera, Arcostaphilos, Olea, Pistacia, Chamaerops
África del Sur	9	13	60	Podocarpus, Maytenus, Strelitzia, Elytropappus, Erica, Leucadendron
Suroeste Australia	310	8	70	Brachychiton, Eucalyptus, Acacia, Callistemon, Melaleuca, Banksia, Dicksonia
California	320	4.5	48	Quercus, Arbutus, Pinus, Arctostaphilos, Ceanothus, Garrya, Larrea, Fouquieria, Adenostoma
Chile	140	3.5	45	Cryptocaria, Lithraea, Acacia, Quillaja, Echinopsis

Un antecedente de suma importancia con respecto al clima mediterráneo en donde se enmarcan ambas áreas en estudio es que son zonas “hotspots”. Lo anterior quiere decir que forman parte de áreas en donde existe mayor necesidad de salvaguardar especies endémicas, también llamados “puntos calientes”. Lo anterior forma parte de un enfoque que busca concentrar los esfuerzos en aquellas áreas que ofrecen concentraciones excepcionales de especies endémicas y experimentan pérdidas excepcionales de hábitat (Myers et al., 2000). Por lo que ambas zonas son prioritarias para la conservación (Zona Central de Chile y la Provincia Florística de California).

1.4 Degradación de la tierra y desertificación

Existe confusión con la palabra “tierra”, porque la terminología usada en las distintas disciplinas científicas proviene del inglés y la traducción en los textos causa desconcierto debido a que se le confunde con la palabra suelo. Para efectos de este trabajo se entiende por “tierra”: “al sistema bioproductivo terrestre que comprende el suelo, la vegetación, otros componentes de la biota y los procesos ecológicos e hidrológicos que se desarrollan dentro del sistema” (UNCED, 1994).

Autores como Pieri et al. (1995) definen “degradación de la tierra” como la disminución en la capacidad del suelo para la producción agrícola o su potencial, es decir una reducción en su calidad.

La degradación de las tierras para efectos de esta investigación se entenderá como (UNEP, 2006): “la reducción de la capacidad de la tierra para llevar a cabo las funciones y servicios ecosistémicos (incluyendo los ecosistemas agroforestales y urbanos) que da soporte a la sociedad y su desarrollo (ejemplos de los servicios de la tierra son sus contribuciones para el ciclo del agua, el ciclo de la energía (comida y fibra), composición atmosférica (emisiones) y el ciclo de nutrientes (desechos). En otras palabras la desertificación es la degradación de la tierra a través de procesos que llevan a un deterioro de sus recursos naturales en lugares donde las lluvias son escasas (tierras secas).

En el caso de América Latina (Abraham, 2007), este fenómeno ha sido acelerado debido a la deforestación, la sobrecarga ganadera, y la agricultura intensiva que muchas veces no ha sido realizada con las mejores técnicas de labranza. Aunado a lo anterior, el cambio climático estima un aumento de la temperatura y una disminución de las precipitaciones. Es importante recalcar que la desertificación es un problema que tiene componentes tanto de origen humano como natural que lo hace un fenómeno complejo.

1.5 El Riesgo a la desertificación

Martín de Santa Olalla (2001) menciona que la desertificación es el resultado de una retroalimentación difícil de frenar, que refuerza o amplifica determinados mecanismos naturales a causa de la intervención humana. Según él, las causas que

desencadenan la desertificación y los factores que la controlan son múltiples y hay que buscarlas en la acción sinérgica de un amplio conjunto de procesos físicos y antrópicos multiescalados en el tiempo y en el espacio.

Después de analizar una situación local a manera de sistema complejo, ha sido importante, para los tomadores de decisiones, buscar formas de reducir la complejidad para poder manejarla. El uso de indicadores ambientales ha sido una herramienta sumamente útil para comparar situaciones, privilegiar soluciones, entre otras.

En este trabajo el proceso de desertificación se evalúa como un riesgo ambiental que está en función de la amenaza y vulnerabilidad. y se incorporan indicadores para ambos factores del riesgo:

Amenaza: Peligro latente o factor de riesgo externo al sistema o peligro existente en torno a las comunidades humanas, que además puede crear situaciones adversas para la vida del hombre, que puede ocurrir con cierta intensidad en un lugar específico y durante un tiempo de exposición determinado (Gray de Cerdán, 1998; Cardona, 2001). Los indicadores de amenaza a la desertificación serían la disminución de las precipitaciones por cambios en el clima global, la compactación del suelo por razones naturales y antrópicas y la intensidad en el uso del suelo entre otros.

Vulnerabilidad: Considerada como la propensión de sufrir daños que tiene un componente de la estructura social o de la naturaleza misma (Gray de Cerdán, 1998). En este sentido corresponde a la factibilidad de que el sujeto o sistema expuesto sea afectado por el fenómeno que caracteriza a la amenaza (Cardona, 2001). Para el tema de desertificación serían por ejemplo indicadores de pobreza, demográficos, temas relacionados con el crecimiento o decrecimiento económico y los ingresos entre otros. La Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas define vulnerabilidad como las condiciones determinadas por factores físicos, sociales, económicos, ambientales o procesos que aumentan la susceptibilidad de una comunidad al impacto de las “amenazas”, por lo que la situación de peligro en sí, es vista principalmente como algo externo al sistema o como probabilidad de peligro y sus consecuencias (Birkmann, 2007). El riesgo a la desertificación está es una función

de la situación de peligro (en el caso de la desertificación la amenaza a la degradación de la tierra) y la vulnerabilidad de los elementos expuestos.

Existen numerosos esfuerzos por medir el aumento del riesgo a la desertificación a través de la identificación de los impactos de las actividades, principalmente con importancia económica, causantes de la degradación de tierras secas. Destacan el diseño y la aplicación de diferentes modelos como los de Helldén, (2008), Rasmy *et al.*, (2010) y Musa *et al.*, (2012), que son estudios disciplinarios basados en un indicador local o sistemas de monitoreo a escalas regionales como los planteados por Abubakar (1996), Zhang *et al.*, (2007), Danfeng *et al.*, (2008), Kundu y Dutta (2010), Zolotokrylin, (2011), Sommer (2011) y Vogt *et al.*, 2011, entre muchos otros (Tabla 4).

Tabla 4: Algunas experiencias de modelos, sistemas de monitoreo y evaluaciones de la desertificación.

Título	Autor	Año
Monitoring land degradation in the semiarid tropics using an inferential approach: The Kabomo basin case study, Nigeria	<i>Abubakar</i>	1996
Desertification evaluated using an integrated environmental assessment model	<i>Mouat et al.</i>	1997
Desertification indicators as diagnosis criteria for desertification risk assessment in Europe	<i>Rubio y Bochet</i>	1998
Desertificación: bases conceptuales y metodológicas para la planificación y gestión. Aportes a la toma de decisión.	<i>Abraham</i>	2003
Land degradation monitoring in Namibia: a first approximation	<i>Klintonberg</i>	2004
Land desertification monitoring and assessment in Yulin of Northwest China using remote sensing and geographic information systems (GIS)	<i>Zhang et al.</i>	2008
A coupled human–environment model for desertification simulation and impact studies	<i>Helldén</i>	2008
Assessing desertification risk using system stability condition analysis	<i>Ibañez et al.</i>	2008
Developing a Synthetic Index of Land Vulnerability to Drought and Desertification	<i>Salvati et al.</i>	2009
A dynamic simulation model of desertification in Egypt	<i>Rasmy et al.</i>	2010
Application of Remote Sensing and Gis in the Study of Environmental Sensitivity to Desertification: A Case Study in Basrah Province, Southern Part of Iraq	<i>Hadeel et al.</i>	2010
Monitoring and assessment of land degradation and desertification: towards new conceptual and integrated approaches	<i>Vogt et al.</i>	2011
A New Approach to the Monitoring of Desertification Centers	<i>Zolotokrylin et al.</i>	2011
Monitoring desertification risk through climate change and human interference using Remote sensing and GIS techniques	<i>Kundu A. et al.</i>	2011
Assessment of the desertification vulnerability of the Cappadocian district (Central Anatolia, Turkey) based on aridity and climate-process system	<i>Türkeş et al.</i>	2011
Cross.scale monitoring and assessment of land degradation and sustainable land management: a methodological framework for knowledge management	<i>Reed et al.</i>	2011
Application of indicator systems for monitoring and assessment of desertification from national to global scales	<i>Sommer</i>	2011
Remote sensing and GIS based predictive model for desertification early warning in north eastern Nigeria	<i>Musa et al.</i>	2012

1.6 Conclusión

La rica discusión conceptual en la literatura acerca de los términos desertificación, degradación de la tierra, zonas áridas y riesgo a la desertificación, indica la importancia del tema a nivel mundial y a pesar de que durante años se ha discutido la terminología, todavía hoy existe la necesidad de clarificar los enfoques para resolver el problema. Los acuerdos y desacuerdos en la terminología muestran confusión, por ejemplo hay valiosos estudios de erosión, cambios en el uso de suelo, cambios en la cobertura vegetal, o estudios del clima, todos son estudios disciplinarios importantísimos, sin embargo se entienden como sinónimos de desertificación, cuando el fenómeno es mucho más complejo que un solo proceso de degradación de tierras.

1.7 Referencias

- Abraham, E.; Laurelli, E.; Montaña, E.; Pastor, G.; Torres, L. M. (2007). La pobreza: En el encuentro del ordenamiento territorial y la lucha contra la desertificación. *Revista de estudios regionales y mercado de trabajo* (3), 191-203.
- Abraham, E. (2003). "Desertificación: bases conceptuales y metodológicas para la planificación y gestión". Aportes a la toma de decisión. *Zonas Áridas*, Lima, Centro de Investigaciones de Zonas Áridas, Univ. Agraria La Molina, N° 7, 19; 68, ISSN-1013-445.
- Abubakar, S. M. (1997). Monitoring land degradation in the semiarid tropics using an inferential approach: the Kabomo basin case study, Nigeria. *Land Degradation & Development* 8(4): 311-323.
- Basso, F., E. Bove, et al. (2000). "Evaluating environmental sensitivity at the basin scale through the use of geographic information systems and remotely sensed data: an example covering the Agri basin (Southern Italy)." *CATENA* 40(1): 19-35.
- Birkmann, J. (2007) Risk and Vulnerability Indicators at Different Scales: Applicability, Usefulness and Policy Implications', *Environmental Hazards*, 7 (2007), 20-31.
- Cardona, D. (2001). La necesidad de repensar de manera holística los conceptos de vulnerabilidad y riesgo. "Una crítica y una revisión necesaria para la gestión".

- Publicación Centro de Estudios sobre desastres y riesgos CEDERI.Universidad de los Andes Bogotá.
- CAZALAC, 2006. Zonación de los regímenes hídricos de América Latina y el Caribe desde una perspectiva climática. (Versión preliminar). Presentado en el IV Foro Mundial del Agua. México D.F., 17-23 de Marzo 2006.
- Contador, J. F. L., S. Schnabel, et al. (2009). "Mapping sensitivity to land degradation in Extremadura. SW Spain." *Land Degradation & Development* 20(2): 129-144.
- Costa, M., 2007. Diversidad paisajística y vegetacional en el mediterráneo en "El paisaje mediterráneo". Cuadernos de sostenibilidad y Patrimonio Natural. España. Fundación Santander.
- Danfeng S., Hong L. y L. Baoguo.2008. Landscape connectivity changes analysis for monitoring desertification of Minqin county, China. *Environ Monit Assess* 140:303-312.
- Gray de Cerdán, N. (1998). Evaluación y reducción de la vulnerabilidad: Una visión indispensable para la gestión territorial. *Estudios Geográficos* tomo LVIV, nº 230, Enero Marzo .
- Hadeel, A. S., M. Jabbar, et al. (2010). "Application of remote sensing and GIS in the study of environmental sensitivity to desertification: a case study in Basrah Province, southern part of Iraq." *Applied Geomatics* 2(3): 101-112.
- Helldén, U. (2008). "A coupled human-environment model for desertification simulation and impact studies." *Global and Planetary Change* 64(3-4): 158-168.
- Ibáñez, J., J. M. Valderrama, et al. (2008). "Assessing desertification risk using system stability condition analysis." *Ecological Modelling* 213(2): 180-190.
- Kepner, W. G., J. L. Rubio, et al. (2005). Desertification in the Mediterranean Region. A Security Issue: Proceedings of the NATO Mediterranean Dialogue Workshop, Held in Valencia, Spain, 2-5 December 2003, Springer.
- Klintonberg, P. and M. Seely (2004). "Land Degradation Monitoring in Namibia: A First Approximation." *Environmental Monitoring and Assessment* 99(1-3): 5-21.
- Kosmas C., M. T., N. Moustakas, D. Kosma & N. Yassoglou (2005). Environmentally Sensitive Areas and Indicators of Desertification. *Desertification in the*

- Mediterranean Region. A Security Issue: Proceedings of the NATO Mediterranean Dialogue Workshop, Held in Valencia, Spain, 2-5 December 2003. J. L. R. William G. Kepner, David A. Mouat, Fausto Pedrazzini, Springer: 614.
- Kundu A. y Dutta D. (2011). Monitoring desertification risk through climate change and human interference using Remote sensing and GIS techniques. International Journal of Geomatics and Geosciences. Volume 2, No 1.
- Landsberg, H. (1986). Potentialities and limitations of conventional climatological data for desertification monitoring and control. Climatic Change 9 (1986) 123-128.
- López F. (2001). El riesgo de desertificación. En M. d. Olalla, Agricultura y desertificación (pág. 341). Madrid: Mundi Prensa.
- Martín de Santa Olalla, F.(2001). Agricultura y desertificación. Madrid: Mundi-Prensa.
- Pieri C., J. Dumanski, Hamblin Ann y Anthony Young. 1995. Land Quality Indicators. World Bank Discussion Papers. The International Bank for Reconstruction and Development/ The World Bank. Washington, D.C.
- Myers M., M. Russell, et al. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. Nature 403, 853-858.
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA), (2005). Ecosystems Services and Human Well-being. World Resources Institute, Washington DC.
- Morales C., S. Parada (2005). Pobreza, desertificación y degradación de los recursos naturales. CEPAL, Santiago de Chile, Publicaciones de Naciones Unidas.
- Mouat, D., J. Lancaster, et al. (1997). "Desertification Evaluated Using an Integrated Environmental Assessment Model." Environmental Monitoring and Assessment 48(2): 139-156.
- Musa, A. A., E. N. Gajere y Akinyede J. O. (2012). "Remote sensing and GIS based predictive model for desertification early warning in north eastern Nigeria.NED University Journal of Research 9(1): 1-14.

- Nato Mediterranean Dialogue Workshop on Desertification in the Mediterranean Region. (2006). "Desertification in the Mediterranean region a security issue." from <http://public.eblib.com/EBLPublic/PublicView.do?ptiID=303380>.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), (2013). Pobreza Rural y políticas públicas en América Latina y el Caribe. Tomo I. Santiago de Chile.
- Ovalles F. (2006). Manejo Sustentable de los Recursos Naturales en América Latina y el Caribe: Oportunidades y Desafíos de Investigación y Desarrollo Tecnológico para la Cooperación. Documento Coordinado por la Secretaría Ejecutiva del PROCINDINO con el apoyo de la Secretaría Técnica de FORAGRO en el Área Tecnología e Innovación de la Dirección de Liderazgo Técnico y Gestión del Conocimiento del IICA.
- Prats, A. G. (2006). Sequías: Teoría y prácticas, Editorial Universitat Politècnica de València.
- Pieri C., J. Dumanski, Hamblin Ann y Anthony Young. (1995). Land Quality Indicators. World Bank Discussion Papers. The International Bank for Reconstruction and Development/ The World Bank. Washington, D.C.
- Rasmy, M., A. Gad, et al. (2010). "A dynamic simulation model of desertification in Egypt." *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science* 13(2): 101-111.
- Reed, M. S., M. Buenemann, et al. (2011). "Cross-scale monitoring and assessment of land degradation and sustainable land management: A methodological framework for knowledge management." *Land Degradation & Development* 22(2): 261-271.
- Rubio, J. L. and E. Bochet (1998). "Desertification indicators as diagnosis criteria for desertification risk assessment in Europe." *Journal of Arid Environments* 39(2): 113-120.
- Salvati, L. and S. Bajocco (2011). "Land sensitivity to desertification across Italy: Past, present, and future." *Applied Geography* 31(1): 223-231.
- Salvati, L., M. Zitti, et al. (2009). "Developing a Synthetic Index of Land Vulnerability to Drought and Desertification." *Geographical Research* 47(3): 280-291.

- Secretariat of the United Nations Convention to Combat Desertification, 2014. Desertification, The Invisible Frontline. United Nations Convention to Combat Desertification. Web-site: www.unccd.int
- Sommer, S., C. Zucca, et al. (2011). "Application of indicator systems for monitoring and assessment of desertification from national to global scales." *Land Degradation & Development* 22(2): 184-197.
- Strahler A. y Strahler A. 1997. *Introducing Physical Geography*. Second Edition. John Wiley & Sons.
- Tunstall D., Henninger N. y R. White (2002). *An Ecosystem Approach to Drylands*. World Resources Institute. www.wri.org
- Türkeş Murat y A. Serap Akgündüz (2011). Assessment of the desertification vulnerability of the Cappadocian district (Central Anatolia, Turkey) based on aridity and climate-process system. *International Journal of Human Science*.
- UNCED, 1992. Report of the United Nations Conference on Environment and Development, chapter 12: Managing fragile ecosystems: Combating desertification and drought- (Rio de Janeiro, 3-14 June 1992), General A/CONF.151/26 (Vol. II); <http://www.unccd.int/en/about-the-convention/history/Agenda-21-Chapter-12/Pages/default.aspx>
- UNCED, 1994. United Nations Convention to combat desertification in those countries experiencing serious drought and / or desertification, particularly in Africa. United Nations Environment. Geneva: Interim Secretariat for the Convention to combat desertification.
- UNEP, 2006. Project "Global: Land Degradation Assessment in Drylands (LADA)". United Nations Environment Programme. Global Environment Facility.
- United Nations, 2000. Sustainable Livelihoods in the drylands. A discussion paper for the eighth session of the commission on sustainable development. United Nations. New York. IFAD. GEO América Latina y el Caribe. Perspectivas del medio ambiente 2000. México, D.F., Oficina Regional.
- Verbist K., Santibañez F., Gabriels D. y G. Soto. (2010). Atlas de Zonas Áridas de América Latina y El Caribe. CAZALAC. Documentos Técnicos del PHI-LAC.

- Vogt, J. V., U. Safriel, et al. (2011). "Monitoring and assessment of land degradation and desertification: Towards new conceptual and integrated approaches." *Land Degradation & Development* 22(2): 150-165.
- Zhang, Y., Z. Chen, et al. (2008). "Land desertification monitoring and assessment in Yulin of Northwest China using remote sensing and geographic information systems (GIS)." *Environmental Monitoring and Assessment* 147(1-3): 327-337.
- Zolotokrylin, A. N. and T. B. Titkova (2011). "A new approach to the monitoring of desertification centers." *Arid Ecosystems* 1(3): 125-130.

CAPÍTULO II: EL PROBLEMA Y METODOLOGÍA GENERAL

2.1 El problema de investigación

La intensificación de las actividades productivas y el crecimiento poblacional en las zonas mediterráneas de América Latina y en el mundo, ha llevado a la generación de una serie de impactos que no han sido evaluados integralmente. El resultado es la degradación de tierras y el aumento del consecuente riesgo de desertificación. La consecuencia de esto tiene un origen histórico complejo ya que durante muchos años se han manejado sistemas de explotación altamente intensivos sin regulaciones apropiadas, ni suficientes instrumentos de planificación territorial particularizados a las tierras secas.

La confusión bibliográfica en cuanto a cuestiones conceptuales, motiva a trabajar en una tipología de estudios en desertificación para por ejemplo, generar tipologías de estudios enfocados al clima, a la degradación, a la escala, etc.

En este caso, la importancia del clima tipo mediterráneo para la producción de la vid, cítricos y flores para el comercio internacional y su aporte al consumo local, hace interesante estudiar el estado de desertificación de las tierras secas de este tipo para pensar en estrategias de manejo para prevenir, mitigar y en su caso, restaurarlas.

Focalizar la investigación en las tierras secas con clima tipo mediterráneo (semiárido y que corresponde a una asociación vegetal) permite comparaciones y aplicaciones puntuales de los resultados de la investigación. Para ello, se eligieron dos zonas que además de compartir clima y vegetación, comparten cuestiones culturales y presiones que impone el modelo de desarrollo económico neoliberal. Los modelos realizados se aplicaron en dos casos de estudio con dos escalas diferentes, a mesoescala la cuenca hidrológica del Puangue, Chile y a microescala la localidad de Maneadero, en Baja California, México.

2.2 Objetivos

2.2.1 Objetivo general

Diseñar una estrategia para el estudio y gestión de la desertificación para cuencas y localidades mediterráneas latinoamericanas.

2.2.2 Objetivos específicos

La investigación aborda dos grandes objetivos específicos que derivan en las siguientes preguntas de investigación:

1) Diseñar una estrategia para el estudio y gestión de la desertificación.

- ¿Qué dice la literatura acerca de la desertificación en el mundo?
- ¿Cuáles son los modelos de evaluación existentes y qué indicadores existen?
- ¿Cuántos y cuál es el significado de los indicadores que se han utilizado en estudios de desertificación?
- ¿Cómo desarrollar un proceso integral de evaluación y monitoreo de la desertificación?

2) Diseñar un modelo de riesgo adaptativo para definir el tipo de área (Fase 1 de la estrategia propuesta en el objetivo anterior).

- ¿Existe la posibilidad de adaptar los modelos a una situación de clima tipo mediterráneo?
- ¿Cómo y porqué es importante incorporar la componente hidrológica en un modelo de riesgo a la desertificación cuando es tan poco utilizada?
- ¿Cómo varía el diagnóstico del riesgo a la desertificación al comparar los resultados de dos modelos, de los cuales uno incorpore un indicador hidrológico percibido por la comunidad?

De las preguntas y objetivos anteriores se derivan los siguientes productos:

Producto 1: Modelo metodológico para el estudio y gestión de la desertificación.

1. Revisar la literatura acerca de todo lo relacionado a la desertificación.
2. Analizar los modelos existentes en la literatura y conocer los indicadores que usan.
3. Generar una base de datos con indicadores validados en estudios de desertificación en el mundo.
4. Modelo para la selección de indicadores.

Producto 1: Diseño de un modelo de riesgo adaptativo para definir el tipo de área (Fase 1 de la propuesta metodológica del Producto 1.

1. Adaptar un modelo a la situación de dos escalas micro y meso en dos casos en el mediterráneo de América Latina.
 - Seleccionar un modelo
 - Identificar otros indicadores para complementar el modelo basándose en las causas y efectos.
2. Aplicar el modelo para evaluar el riesgo a la desertificación en ambos casos de estudio.
3. Comparar los resultados del modelo en la chilena incorporando un indicador hidrológico obtenido de un estudio de percepción social.

2.3 Aproximación a las áreas en estudio

2.3.1 Zonas áridas en Chile y el peligro a desertificarse

Chile posee el 58% de su territorio árido que corresponde al 6% (435,991 Km²) del total de las zonas áridas de América Latina (Verbist, 2010). La información sobre las zonas áridas es escasa y el monitoreo de la erosión, un factor clave de la desertificación, sobre todo en las escalas locales a nivel país, es mínimo (Pizarro et al., 2010).

Según la CONAF (2007), todos los municipios rurales en la Región Metropolitana de Santiago de Chile poseen algún grado de desertificación, ya sea de carácter grave, moderada o leve. Este dato cobra mayor relevancia si se considera que esta zona abastece de productos agrícolas a la ciudad de Santiago, la ciudad más poblada del país. Los resultados del Censo Agropecuario (2007), mencionan que del uso de suelo destinado a cultivos en la región, un 73.84% son de cultivos anuales y permanentes.

Estudios realizados por la Universidad de Chile (1997) mencionan que la degradación de los recursos del área mediterránea árida y semiárida de Chile es un proceso continuo y sostenido que conduce a estados de deterioro cada vez más agudos. Más recientemente, el Congreso Nacional (2012) indica que, la productividad agrícola, un indicador de degradación, en el país disminuyó su crecimiento de 2.8% entre 1984-1997, a sólo 0.9% entre 1998 y 2005. En estos mismos antecedentes señalan que el fenómeno se expresa con mayor magnitud en las macrozonas agroecológicas de la Precordillera de la I y II regiones, la faja costera de la I a IV regiones, las áreas ocupadas por las comunidades agrícolas de la III a la IV Región, el Secano Costero de la V a la VIII Región, la precordillera andina de la VI a la VIII Región y las zonas degradadas de la XI a la XII Región (Figura 4).

De acuerdo con Gardi et al., (2014) la superficie chilena afectada por la desertificación asciende a 47.3 millones de hectáreas (aproximadamente el 62% del territorio nacional). Según estos autores, la erosión, un indicador de desertificación, constituye en la actualidad uno de los problemas ambientales con más influencia en el sector silvoagropecuario. A nivel nacional, la superficie correspondiente a suelos

erosionados (con diversos grados de erosión) es de unos 36.8 millones de hectáreas, equivalentes al 49% del territorio nacional. Los sectores con mayores problemas de erosión actual, por orden de importancia, son la región de Coquimbo, con el 84% de sus suelos erosionados, Valparaíso (57%) y O'Higgins (52%).

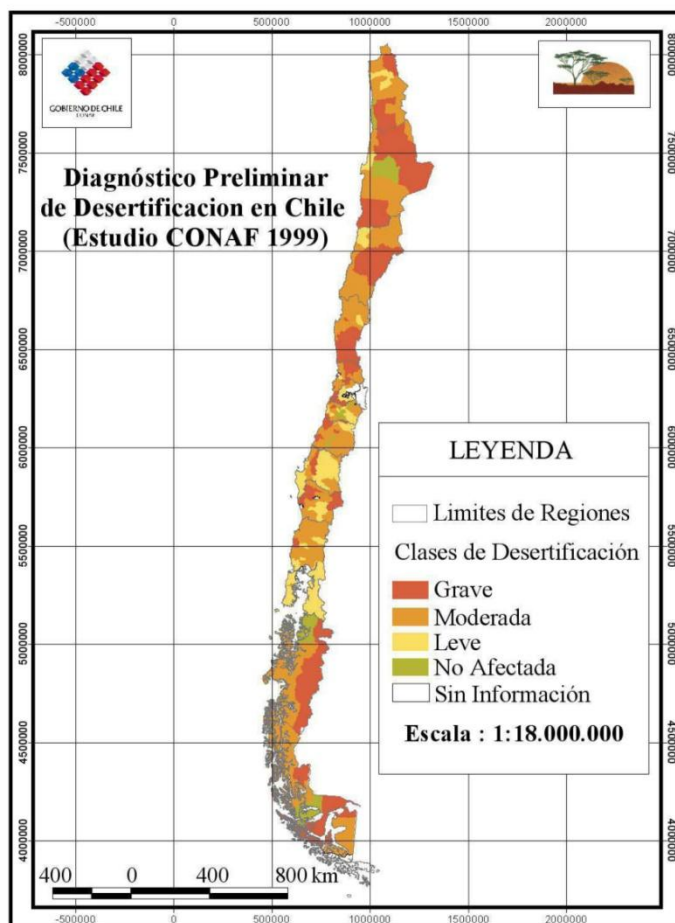


Figura 4: Mapa preliminar de la desertificación en Chile, CONAF (1999).

2.3.1.1 El Valle del Puangue en Chile.

La Región Metropolitana de Chile, ocupa una posición mediterránea definida por los cordones montañosos que rodean la cuenca central que refuerza la acción dominante del anticiclón del Pacífico y marca las diferencias estacionales, con veranos cálidos y secos e inviernos fríos con lluvias esporádicas que mantienen la condición de

semiaridez dentro de esta área transicional y se extiende entre los 32° 55' y 34° 19' de latitud Sur.

La cuenca del Valle del Puangue, se localiza en las estribaciones de la cordillera de la costa de Chile central en la Región Metropolitana, teniendo como dren principal el Estero Puangue. El área en estudio (Figura 5) posee una población aproximada que asciende a los 45,000 habitantes comprendida por el territorio de las comunas de Curacaví, María Pinto y el norte de la comuna de Melipilla, cuyos poblados principales son Mallarauco y Bollenar. Según antecedentes previos esta tiene un grado leve de desertificación (CONAF, 1999 en Congreso Nacional 2012).

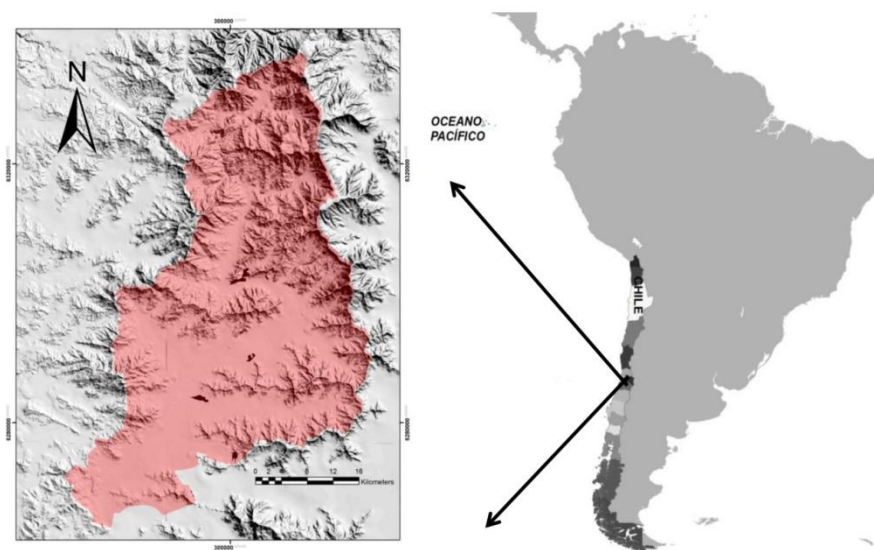


Figura 5: Ubicación del Puangue, área de estudio en Chile.

En el área, el promedio de precipitaciones en la cuenca media (María Pinto) no supera los 450 milímetros, lo que hace posible un paisaje semiárido en donde predomina principalmente la vegetación de matorral y matorral arborecente. En los últimos años la zona ha desarrollado un gran despliegue de actividades agrícolas, sobre todo en cultivos industriales (25.82% según el Censo Agropecuario de 2007), lo que ha demandado mayor cantidad de recursos naturales (suelo y agua especialmente). Con el tiempo existe una creciente preocupación, pública y privada, por determinar las repercusiones actuales y potenciales en la disponibilidad de estos recursos. Asimismo,

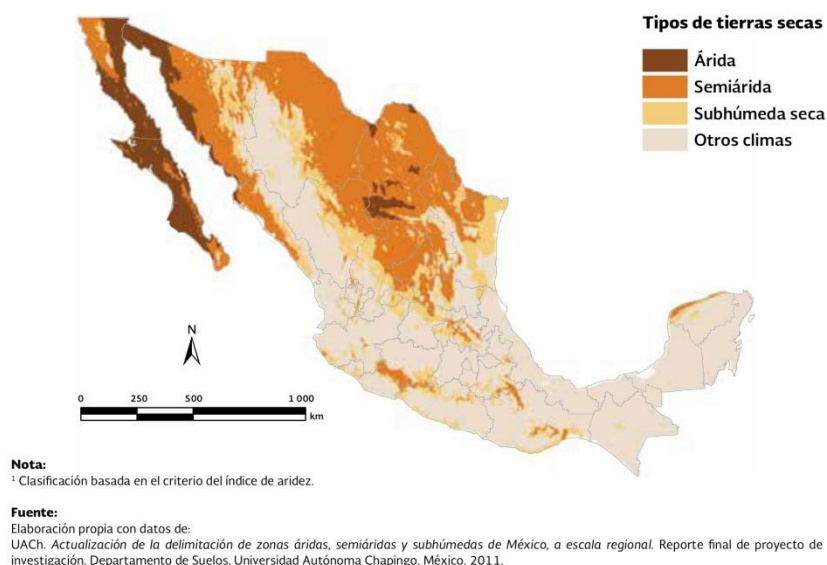
interesa el alcance de la desertificación de sus suelos, especialmente ante escenarios de cambio climático, los cuales proyectan una disminución de las precipitaciones y un aumento de las temperaturas.

2.3.2 Zonas áridas en México y el peligro a desertificarse

En México, las tierras secas (áridas, semiáridas y subhúmedas secas) se encuentran principalmente en los desiertos Sonorense y Chihuahuense y en las regiones centrales influenciadas por el efecto de sombra orográfica generada por las Sierras Madre Occidental y Oriental (Figura 6). Las tierras secas ocupan aproximadamente 101.5 millones de hectáreas, poco más de la mitad de la superficie del país. De esta superficie, las zonas áridas representan el 15.7%; las semiáridas, el 58% y el 26.3% restante corresponde a las zonas subhúmedas secas (SEMARNAT, 2012).

De acuerdo con SEMARNAT (2012) y con base en el Censo de Población y Vivienda 2010, en las tierras secas de México habitaban 33.6 millones de personas, que equivalían al 30% de la población del país. De ellas, 18.1% radicaba en localidades rurales y 81.9% en localidades urbanas (SEMARNAT, 2012).

Distribución de las tierras secas de México¹



¹ En el Informe de la Situación del Medio Ambiente en México, edición 2008, se utilizó una zonificación basada en el Sistema de Clasificación Climática de Köppen adaptada para México (García, 1988), a partir de la cual se obtuvo una superficie de 128 millones de hectáreas de tierras secas en el país, aproximadamente 65.2% del territorio.

Figura 6: Mapa de las tierras secas de México.

La vegetación de estas áreas está principalmente formada por matorral xerófilo, su composición florística diferencial de estas regiones refleja con bastante fidelidad la situación recíproca de relativo aislamiento y, no obstante que las floras de todas las partes áridas de México muestran evidentes relaciones de parentesco entre sí, en cada región se han individualizado grupos de plantas que les confieren carácter propio (Rzedowski, 2006).

Dada la variedad de estudios y modelos utilizados para evaluar la desertificación en México, es difícil determinar cuáles cifras se aproximan a la realidad del país (Oropeza, 2007). Sin embargo, parece un problema grave. Por ejemplo, Estrada y Ortiz, (1982) señalan alarmantes proporciones de afectación por erosión hídrica (99.83%) desde la clase ligera hasta la severa. Este dato lo constata la Comisión Nacional de Zonas Áridas (CONAZA) quien menciona que en los noventa, más de 97% del país muestra algún proceso de degradación de tierras, y que de este porcentaje, más de 60% manifiesta una degradación severa o extrema (CONAZA-SEDESOL 1994, citado en Oropeza y Alfaro 1994). SEMARNAT (1999) con el modelo GLASOD (Global Assessment of Soil Degradation), estimó que sólo el 64% del país se desarrolla alguno de los procesos de desertificación, y de este porcentaje, sólo en 9.31% se presenta un deterioro de moderado a fuerte. Según datos más recientes y clasificaciones diferentes, (Gardi et al., 2014), México posee 88 millones de hectáreas afectadas por procesos de degradación de suelos (no desertificación). Mencionan algunos indicadores de desertificación como erosión eólica (9%), erosión hídrica (12%), degradación química (35 millones de hectáreas) y física (12 millones de hectáreas).

2.3.2.1 Estudio de caso: Localidad de Maneadero, Baja California, México

La localidad de Maneadero se ubica al noroeste de México, la única zona del país con clima mediterráneo. Pertenece al Estado de Baja California, municipio de Ensenada y fue una zona agrícola de gran relevancia regional. El deterioro del acuífero ha motivado estudios de largo plazo y cuenta con datos hidrológicos de alta calidad que no están disponibles para muchas localidades del mediterráneo mexicano. El acuífero de Maneadero está ubicado entre los meridianos 116°30' y 116°40' de longitud oeste y paralelos 31°41' y 31°51' de latitud norte en la zona mediterránea del estado, con

un poblado de 30656 habitantes (Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Sustentable, 2013) y una superficie de 12,949 hectáreas (SEDESOL, 2010).

Para efectos del mapa se delimita un polígono tomando las coordenadas UTM con base en la información disponible de los diferentes estudios realizados a una escala que cubra la localidad del Valle de Maneadero en el mapa. Punto 1 : X 533624.4 metros; Y 3520761.9 metros; Punto 2 : X 5486974 metros; Y 3520717 metros; Punto 3 : X 533624 metros ; Y 3504077 metros; Punto 4 : X 5486974 metros ; Y 3502642 metros.

Maneadero posee un acuífero libre litoral que se alimenta con volúmenes de agua procedentes del escurrimiento de los arroyos que concurren al sitio, siendo los principales los arroyos de San Carlos y Las Animas (Figura 7). La recarga vertical que recibe el acuífero de Maneadero, principalmente es debida a las precipitaciones extraordinarias que ocurren en su cuenca y a la recarga por infiltración a través de los arroyos, zonas inundables y en menor medida, a la superficie permeable de la cuenca.

La actividad agrícola en Maneadero comenzó desde finales del siglo XIX cuando tres empresas iniciaron la actividad en el valle y fue a partir del 21 de Febrero de 1961 que el acuífero fue vedado, debido a la intensa explotación para fines agrícolas. A pesar de esto, a finales de la década de los sesentas y a principios de los setentas, el acuífero presentó evidencias de sobreexplotación con un deterioro de la calidad del agua, especialmente durante períodos secos. En el 2002 la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) evaluó la disponibilidad de agua en el acuífero de Maneadero y concluyó que la descarga supera a la recarga en un 23.8%, por lo que la condición geohidrológica es “sobreexplotado” (CONAGUA, 2002).

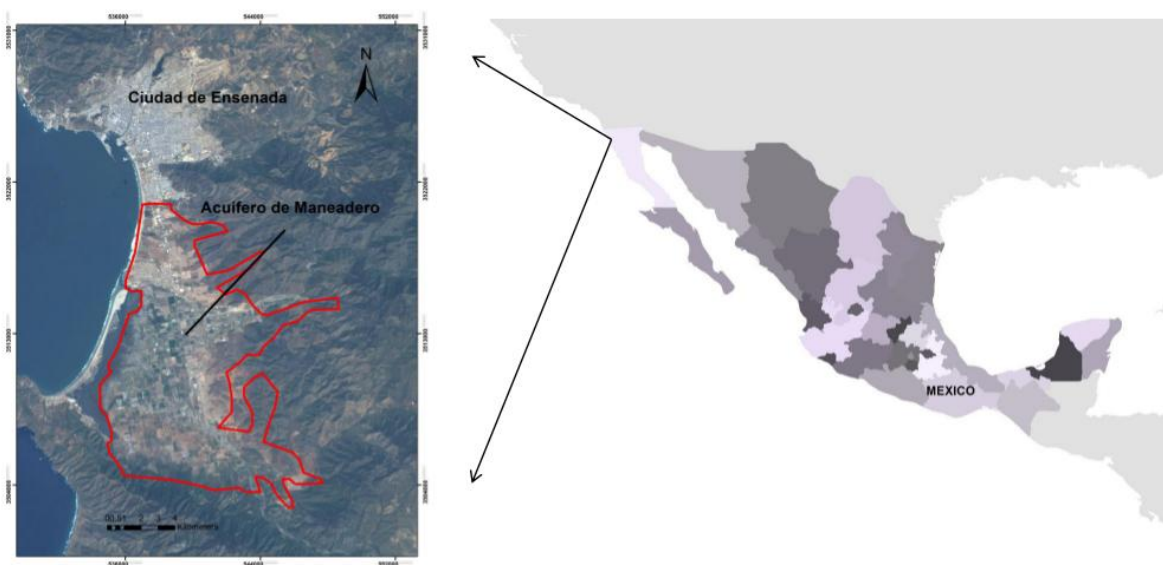


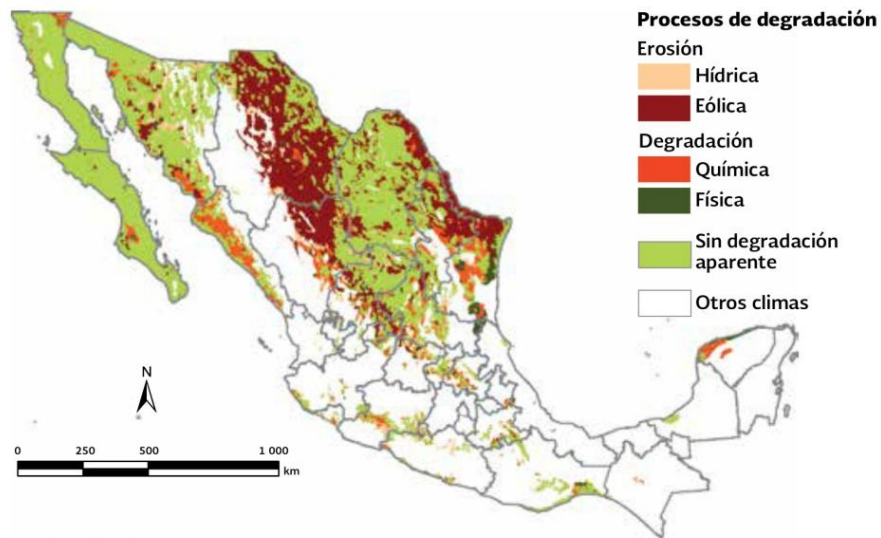
Figura 7: Ubicación de Maneadero, área de estudio en México.

Según Licona (2011), el principal uso de agua subterránea en Maneadero sigue siendo la actividad agrícola (67%). El uso público-urbano, aunque ocupa un segundo lugar, su volumen está muy por debajo del uso agrícola (29%), por lo que el Valle de Maneadero, se distingue por ser todavía una zona agrícola de alto rendimiento.

La importancia del agua en este tipo de agricultura, radica en que la mayor parte de su producción se exporta a los Estados Unidos y representa la principal fuente de ingresos de sus habitantes. Sin embargo, los procesos de intrusión marina y la salinización de suelos, unido a la disminución de los niveles piezométricos y de su calidad, traerá consecuencias ecológicas y socioeconómicas como producto del impacto de estos procesos, tal vez irreversibles, sobre el suelo.

Este trabajo será el primer diagnóstico de la desertificación en la zona, ya que por cuestiones de escala, a nivel nacional el área aparece sin desertificación aparente según el Informe de la Situación del Medio Ambiente en México (SEMARNAT, 2012) y que presenta la Figura 8.

Procesos de degradación del suelo en las tierras secas de México



Fuentes:

Elaboración propia con datos de:
Semarnat y CP. *Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana*, escala 1: 250 000. Memoria Nacional 2001-2002. México. 2003.
UACH. *Actualización de la delimitación de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas de México, a escala regional*. Reporte final de proyecto de investigación. Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Suelos. México. 2011.

Figura 8: Procesos de degradación del suelo en las tierras secas de México.

2.4 Metodología general de la investigación.

2.4.1 Diseño de una estrategia para el estudio y gestión de la desertificación y su relación con el modelo de riesgo.

Para diseñar una propuesta para el estudio y gestión de la desertificación se analizó la bibliografía referente al tema (Figura 9). Para ello se hizo una búsqueda bibliográfica en los sitios más comunmente utilizados como son Springer, Elsevier, Ebsco, Emerald, Wiley y Annual Reviews entre Abril y Octubre del 2012.

Se buscaron artículos con la palabra “desertification” en el título. Se obtuvieron 275 artículos, de los cuales 134 eran estudios de caso donde se aplicaron metodologías para evaluar la desertificación en diferentes lugares del mundo (ANEXO 1) y 15 artículos corresponden a marcos conceptuales acerca de la desertificación. Del análisis profundo de estos, se seleccionaron las 149 publicaciones que contenían información sobre distribución geográfica (país o región de estudio), instituciones y autores de los estudios de casos, definición de desertificación y marco conceptual utilizado, los niveles de integración (disciplinarios, multidisciplinarios, interdisciplinarios y transdisciplinarios), de acuerdo a Morse et al., (2007), el tipo de investigación (revisiones o análisis documentales, con trabajo de campo, tipo y número de indicadores (biofísicos y/o socioeconómicos) y los marcos metodológicos expresamente definidos.

La revisión de esta literatura se profundizó con los proyectos emanados de la Convención de las Naciones Unidas para la lucha contra la desertificación tales como, WOCAT, LADA, DESERTLINK, GLASOD, LUCINDA y trabajos para la evaluación de tierras degradadas en el mundo, como son las obras de Prieri et al. (1995) acerca de los indicadores de degradación de la tierra y el atlas de suelo de América Latina y el Caribe de la Comisión Europea de Gardi et al. (2014,), para seleccionar los indicadores de desertificación que se usan en el mundo.

Es necesario mencionar que en los 134 casos de estudio seleccionados, el planteamiento metodológico de cada documento mostraba las características para poder replicarlo y contenía una base teórica que permitía contextualizar y validar

científicamente el uso de los indicadores seleccionados. Con lo anterior se diseñó una base de datos con 129 indicadores (ANEXO 2), además de la referencia a los proyectos y metodologías probadas en diversas áreas del mundo. Esta base de datos es la herramienta principal de apoyo para la posterior selección de indicadores que fueron utilizados en los diversos casos que se muestran en esta tesis.

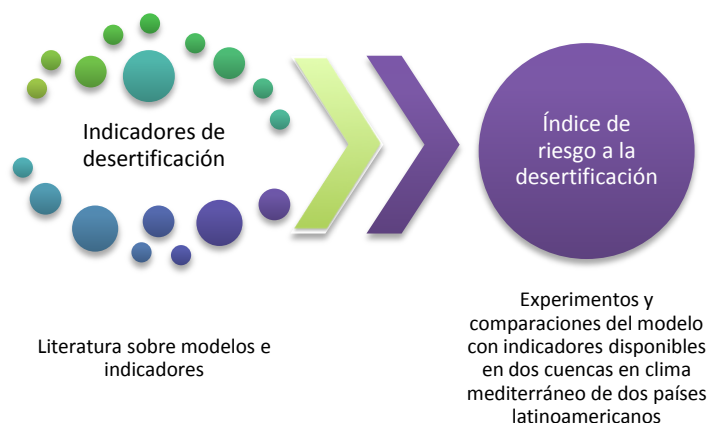


Figura 9: Estrategia para identificar el modelo y los indicadores de riesgo a la desertificación.

Una vez obtenido el diseño metodológico para el estudio y gestión de la desertificación se propone cumplir con la Fase 1 de la estrategia, que plantea la identificación del tipo de degradación del área a gestionar con el fin de evaluar si es un área propensa, en proceso de desertificación o desertificada; Por lo anterior es que se diseña un “modelo de riesgo adaptativo”, que corresponde a un tipo de modelo integrado según lo que plantea Laniak (2013) que cuenta con indicadores y subíndices correspondientes a variables importantes y que muestra información relevante acerca del área de estudio.

Para la construcción del índice de riesgo se realizaron los siguientes pasos metodológicos:

- ✓ Descripción de las áreas en estudio e identificación de las causas que están causando la degradación.

- ✓ Selección y adaptación de un modelo a la situación de las dos cuencas hidrográficas de América Latina como casos de estudio. Se investigaron los trabajos que ya se han hecho en el mundo y se seleccionó uno con base en las oportunidades y limitaciones que se encontró en la literatura en trabajos en donde ya se había aplicado (Farajzadeh y Nik Egbal, 2007; Salvati et al., 2009) .
- ✓ Aplicación del índice de riesgo en las dos áreas de estudio.

Una de las sorpresas que se encontró en la revisión de la literatura existente sobre el tema de desertificación es la ausencia de un indicador clave referente a la hidrología de un sitio propenso a desertificación. Por lo tanto, se hace una propuesta para salvar esta falta, en el caso de México con datos científicos e históricos y en Chile con datos obtenidos de una experiencia común en este tipo de climas que son los eventos emergentes de crecidas fluviales en meses y años de extrema precipitación y otros de la percepción social, obtenidos de 200 encuestas a pequeños productores.

Con estos insumos, se procede a analizar los modelos de desertificación existentes para adaptarlos a la situación de dos cuencas hidrográficas de América Latina. Los estudios de casos se toman para aplicar el índice de riesgo a la desertificación y definir el tipo de avance de la desertificación en la que se encuentran.

A continuación se desarrollará con más en profundidad el diseño del modelo de riesgo a la desertificación.

2.4.2 Diseño de un modelo de riesgo.

Esta tesis está basada en la lógica de toma de decisiones y estudios comparativos, por lo tanto es útil el uso de indicadores, que reflejan la complejidad de un proceso (en este caso la desertificación) o sistema (en este caso una cuenca y una localidad).

1. Marco metodológico conceptual : Los indicadores

A continuación se definirán algunos conceptos importantes para la construcción de índices. Los índices se forman de indicadores solos o aglomerados lo cuales a su vez se construyen a partir de datos que son utilizados para medir procesos en distintas disciplinas y provienen de investigaciones con objetivos diferentes al significado del índice (Figura 10) .

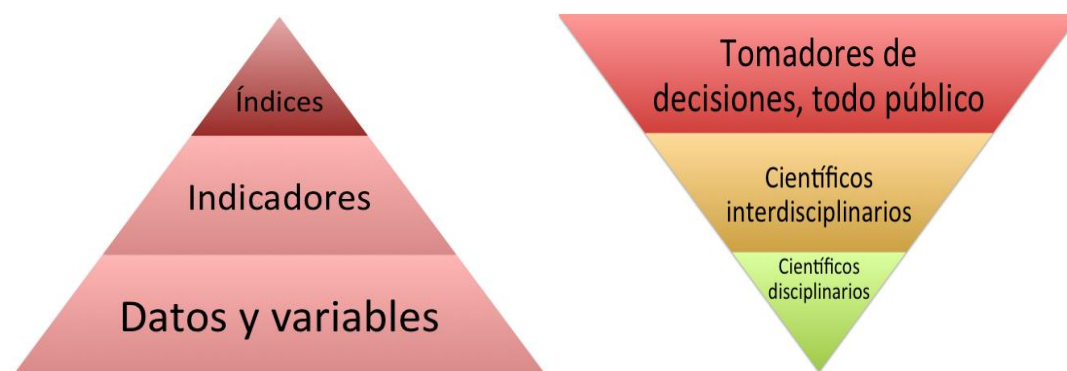


Figura 10: Pirámide para construir índices (izquierda) y personas que los generan o utilizan (derecha). El ancho de las pirámides indica la cantidad. Adaptada de Robinson, C., S/F. Parks Canada Agency.

Una **variable** según la Real academia de la lengua española proviene del latín *variabilis* que quiere decir que varía o puede variar, que es inestable, inconstante y mudable. Según Quiroga (2009), una variable es una representación operacional de un atributo (calidad, característica, propiedad) de un sistema. Es la imagen de un atributo definido desde el punto de vista de una medida específica o procedimiento de observación. En un sentido general, cualquier variable muestra un atributo que es de interés observar y monitorear, de acuerdo a los propósitos que se planteen los equipos especializados que definan su inclusión dentro de un conjunto de variables centrales a investigar.

Los datos según Quiroga (2009) son un conjunto de valores numerales que se observan, registran o estiman respecto de determinada variable en algún punto del espacio y del tiempo, que habitualmente resultan de la aplicación de algún tipo de levantamiento estadístico (como una encuesta o la explotación de un registro administrativo), medición en terreno u otra forma de medición u observación como son por ejemplo los diversos instrumentos de percepción remota (imágenes de satélite por ejemplo).

Las variables de los datos son generadas para estudios disciplinarios, por unos pocos científicos ajenos a estudios de desertificación, pero al ser incorporadas en indicadores de un proceso, cobran otro sentido del que les dio origen.

Los indicadores son medidas o estadísticos que se refieren a una condición o cambio de estado de un factor o recurso natural. Proporcionan información simple y sintética sobre el estado y tendencias de procesos ambientales complejos, con un significado que trasciende a aquél directamente asociado con la medida de un parámetro individual (OCDE, 1993; Acton y Padbury, 1993; Doran y Parkin, 1996).

Los indicadores de desertificación pueden demostrar el grado de avance del proceso y alertar sobre la necesidad de actuar para prevenir, mitigar o rehabilitar una situación de suelos irreversiblemente infértiles (Kosmas et al., 2005). Un indicador o conjunto de indicadores aglomerados en un índice, son una herramienta para: (i) identificar áreas frágiles o propensas a sufrir degradación; (ii) identificar las áreas donde la desertificación ya es un problema; (iii) estimar su gravedad; o (iv) comprender mejor los procesos asociados con la desertificación. Como los indicadores pueden ser redundantes, es muy importante experimentar con ellos, para seleccionar uno o un conjunto mínimo de indicadores que proporcionen la máxima información sobre cambios, tendencias y calidad.

Según varios autores (OCDE, 1993; Rubio and Bochet, 1998), para que los indicadores sean científicamente válidos y útiles a los tomadores de decisiones deben ser:

- Medibles objetiva y científicamente,
- Preferentemente cuantitativos,
- Fáciles y de efectivo coste de medir y/o recolectar información,

- Adaptados a la problemática y condiciones particulares de la situación en que se aplican,
- Sensibles a los cambios ambientales propios de la situación,
- Simples en concepto y accesibles para evaluación, tanto por especialistas como por gestores de los recursos naturales,
- Capaces de permitir la formulación y aplicación de directrices para la adecuada gestión de los recursos naturales.

Los indicadores también se clasifican, según la OECD (1993) en: (1) presión (P), (2) estado (S), y respuesta (R).

- (1) Los indicadores de presión son factores indirectos que permiten analizar las interacciones entre las presiones ejercidas por las actividades humanas sobre los recursos naturales.
- (2) Los indicadores de estado permiten observar cambios en la calidad de los recursos o condiciones del sistema (incluyendo factores biológicos y físicos y sociales y económicos).
- (3) Los indicadores de respuesta son las acciones o intervenciones que se toman en respuesta a esos cambios, en el intento de mitigar o eliminar las presiones y de recuperar los recursos naturales que están siendo degradados.

Han sido numerosos los organismos y autores que han identificado y citado una serie de indicadores en relación con la desertificación como son la vegetación y el agua, aspectos climáticos, geomorfológicos y socio-económicos en zonas secas. Entre ellos merecen citarse los siguientes trabajos: UNEP (1992), Fantechi et al. (1995), Brandt y Thornes (1996), Filiberto et al. (1996), Rubio y Bochet (1998), López Bermúdez y Romero Díaz (1998), López Bermúdez (1999) y López Bermúdez y González Barbera (2000). Asimismo, destacan las propuestas metodológicas más recientes de Abraham et al. (2006), Reynolds et al. (2007), Reed et al. (2010) y Vogt et al. (2011).

Los indicadores son generados por científicos y tomadores de decisiones que trabajan de manera interdisciplinaria y para solucionar un problema real. La cantidad de indicadores es menor que las variables y datos, pero las personas que los generan y comprenden son más que los científicos disciplinarios.

Un índice es un conjunto de indicadores agregados o ponderados, entendiéndose como indicador a una propiedad que es medida u observada (OECD, 2003).

Los índices son en sí modelos que reflejan una situación o proceso. En cantidad son menos porque justamente incluyen un conjunto de indicadores, y quienes los utilizan o comprenden es todo el público, y en especial los tomadores de decisiones.

2. Selección de un modelo base y búsqueda de nuevos indicadores para su adaptación.

a) Modelo Base: Sensibilidad ambiental a la desertificación

Se realizó una revisión y análisis de modelos e indicadores en desertificación y entre los trabajos destacados se destacan: Abubakar (1986), Mouat et al. (1997), Rubio y Bochet (1998), Abraham (2003), Klintenberg (2004) Zhang et al. (2008), Helldén (2008), Ibañez et al. (2008) Salvati et al.(2009), Rasmy et al.(2010). Hadeel et al.(2010), Vogt et al.(2011) Sommer (2011) y Musa et al. (2012). Con base en los autores anteriores es que se diseñó el modelo metodológico que propone esta investigación.

Debido a las oportunidades que ofrece el modelo de sensibilidad ambiental y que se presentan en la Tabla 5, es que se seleccionó para su aplicación en las dos áreas de estudio con clima tipo mediterráneo en Chile y México. Una de las grandes bondades de este modelo es que permite la incorporación de nuevos indicadores. Es decir, es un modelo flexible y adaptable a situaciones similares, pero no idénticas.

La metodología fue diseñada para el clima mediterráneo que tiene ciertas características únicas relacionadas con el régimen de precipitaciones y las características paisajísticas, similares a las que poseen las áreas en estudio y el set de indicadores base son muy sencillos y disponibles para la mayoría de los tomadores de decisiones, por lo que lo hace bastante amigable y replicable en otras zonas mediterráneas en el mundo.

Tabla 5: Oportunidades y limitaciones del modelo de áreas ambientalmente sensibles a la desertificación propuesto por Kosmas et al., 1999.

Oportunidades	Limitaciones
• Flexibilidad de los indicadores disponibles/pertinentes (Salvati et al., 2009) • Puede ser considerado como un buen sistema de alerta temprana (Farajzadeh y Nik Egbal, 2007) • Permite organizar en nuevas formas del modelo basándose en el área de estudio (Farajzadeh and Nik Egbal, 2007) • Permite identificar estrategias de mitigación (Farajzadeh y Nik Egbal, 2007). • También los indicadores pueden ser eliminados cuando se requiera una primera aproximación, o cuando se necesite una estimación de la sensibilidad ambiental y la información necesaria no esté disponible para una área de interés.	• Las suposiciones básicas del modelo (Salvati et al., 2009) a) La sustitución entre las variables consideradas es completa. b) las diferentes temáticas de los indicadores son de igual peso. • Pocos estudios consideran la evaluación temporal de los factores que están afectando (Salvati et al., 2009)

Fuente: Elaboración propia.

El concepto de sensibilidad ambiental comenzó a utilizarse hace unos 30 años en los países industrializados y se ha estimulado recientemente como una forma de hacer frente a la creciente conciencia sobre la desertificación, la degradación de los suelos y sus consecuencias (Rubio, 1995; Basso et al., 2000 y Contador, 2009).

Sensibilidad ambiental puede definirse como la respuesta del medio ambiente o parte de ella a un cambio en uno o más factores externos. Las relaciones entre la causa del cambio y el efecto es a menudo compleja, porque los componentes ambientales separados responden directamente a los cambios, pero con diferentes sensibilidades, mientras que, debido a las interrelaciones entre los componentes, también se ven afectados indirectamente. La degradación se produce cuando la respuesta se considera perjudicial para “la salud” del medio ambiente (Basso et al., 2000).

Kosmas et al. (1999) han propuesto un set de indicadores básicos para la identificación de las áreas ambientalmente sensibles a la desertificación (Environmental Sensitive Areas, ESAS), y las definen como pequeñas áreas que proporcionan funciones ambientalmente críticas en un paisaje más amplio. Las áreas

identificadas con esta metodología desempeñan funciones ecológicas vitales que se consideran esenciales para mantener la integridad de los ecosistemas y la resiliencia.

Esta metodología ha sido validada tanto en escalas regionales como en las locales especialmente en la cuenca del mediterráneo europeo (Portugal, España, Italia y Grecia) y bajo diferentes condiciones ambientales (Salvati y Bajocco, 2011). Ejemplo de su aplicación han sido los trabajos realizados por Basso et al. (2000), Farajzadeh y Nik Eghal (2007), Contador, et al. (2009), Hadeel, et al. (2010), Salvati y Bajocco (2011) y Bakr et al. (2012).

El índice de sensibilidad ambiental a la desertificación se construye con los siguientes subíndices:

Subíndice calidad de suelo (Ss). En las tierras secas, la desertificación puede ser irreversible cuando la profundidad del suelo no es capaz de mantener un mínimo de cobertura vegetal. Hay casos en que procede la desertificación en suelos profundos, cuando su balance de agua es incapaz de satisfacer las necesidades de las plantas. Los indicadores para medir cambios en la calidad del suelos son:

$$Ss = (\text{textura} * \text{pendientes} * \text{pedregosidad} * \text{profundidad de suelo} * \text{drenaje})^{1/5}$$

Subíndice calidad de clima (Sc). La desigual distribución anual e interanual de las precipitaciones, los fenómenos extremos y de temporadas de lluvias en las zonas semi-áridas y áridas en los climas Mediterráneos son las principales características climáticas que contribuyen a la degradación de la tierra. El suelo en estas zonas climáticas es inestable y los procesos de desertificación se activan sólo si los demás componentes de la tierra sobrepasan los umbrales específicos. El cambio climático mundial espera ampliar la actual geografía de las zonas vulnerables en las zonas Mediterráneas.

$$Sc = (\text{precipitaciones} * \text{aridez} * \text{orientación})^{1/3}$$

Subíndice de calidad de la vegetación (Sv). La cubierta vegetal es crucial para la generación de escorrentía y puede ser fácilmente modificada a lo largo de las zonas con clima mediterráneo y en las zonas montañosas, según las condiciones climáticas y

la época del año. En las áreas con precipitación anual inferior a 300 mm y con una alta tasa de evapotranspiración, el agua disponible en el suelo para las plantas se reduce drásticamente causando un alto estrés hídrico.

$$S_v = (\text{riesgo de incendios} * \text{protección a la erosión} * \text{resistencia a la sequía} * \text{cobertura vegetal})^{1/4}$$

Subíndice de calidad de la gestión (Sg). Un área del territorio se caracteriza por un uso particular. Este uso se asocia con una determinada actividad que es dictado por los cambios y bajo la influencia del medio ambiente y a los factores tecnológicos y políticos.

$$S_g = (\text{Intensidad en el uso de suelo} * \text{Políticas})^{1/2}$$

Cada indicador tiene diferentes ponderadores según diferentes parámetros. En este caso dichos pesos se muestran en la Tabla 2.2 .

A cada característica de cada unidad territorial se le asigna un ponderador según la propiedad que se está evaluando aplicando los ponderadores de la tabla 2.2 , de esta manera se aplica la fórmula

$$\text{Índice de sensibilidad ambiental} = (S_c * S_c * S_g * S_v)^{1/4}$$

Fórmula 1

Tabla 6: Indicadores y ponderadores.

Variable	Indicador	Parámetro	Valor	Variable	Indicador	Parámetro	Valor
Suelo	Textura	Descripción		Vegetación	Riesgo de Incendio	Tierra desnuda	1
		(Arena, limo, arcilla)				Cultivos agrícolas anuales	1.3
		Bueno	1			Matorral y praderas	1.6
		Moderado	1.2			Matorral arborescente, matorral de suculentas, bosque nativo	2
	Pendientes	Poroso	1.6		Protección a la erosión	Bosque nativo, matorral arborescente, matorral de suculentas	1
		Muy poroso	2			Matorral y Praderas	1.3
		(%)				Cultivos agrícolas	1.6
		Muy suave a plano < 6	1		Resistencia a la sequía	Tierra desnuda	2
		Suave 6 a 18	1.2			Matorral, matorral de suculentas, Matorral arborescente, bosque nativo	1
		Empinado 18 a 35	1.5			Terrenos agrícolas	1.6
	Pedregosidad	Muy empinado > 35	2		Cobertura	Praderas	1.8
		Cobertura %				Cobertura vegetal (%)	
		Muy pedregoso > 60	1			> 40	1
		Pedregoso 20 - 60	1.3	Gestión	Intensidad en el uso del suelo	10 a 40	1.8
	Profundidad	Desnudo a poco pedregoso < 20 cm	2			< 10	2
		Profundo > 75	1			Áreas naturales	1
		Moderado 75 - 30	2			Zonas de recreo	1.2
	Drenaje	Somero 15 - 30	3		Políticas	Tierras agrícolas de uso extensivo	1.5
		Muy somero < 15	4			Tierras agrícolas de uso intensivo	1.8
		Según Drenaje				Minería	2
		Bien drenado	1			Zonas Urbanas	2
Clima	Precipitación	Imperfectamente drenado	1.2			Grado de regulación	
		Mal drenado	2			Completo: > 75% del área bajo protección	1
		milímetros				Parcial: 25 al 75% del área bajo protección	1.5
		> 650	1			Incompleto: < al 25% del área bajo protección	2
	Aridez	280- 650	2				
		<280	4				
		BGI rango					
		<50	1				
		50 -75	1.1				
		75 - 100	1.2				
	Orientación	100 - 125	1.4				
		125 - 150	1.8				
		> 150	2				
		Exposición					
		SW y SE	1				
		NW y NE	2				

*Para el hemisferio norte los ponderadores de orientación son al revés.

Fuente: Kosmas et al. 1999.

Los ponderadores de cada indicador son multiplicados por los otros indicadores según las variables, con lo que se le otorga un valor a esa unidad territorial. Una vez obtenido el resultado se clasifican según diferentes categorías de sensibilidad (Tabla 2.3).

Tabla 7: Tipos de áreas sensibles y rangos.

Tipo	Subtipo	Rango AAS*
Critica	C3	> 1.53
Critica	C2	1.42-1.53
Critica	C1	1.38-1.41
Frágil	F3	1.33-1.37
Frágil	F2	1.27-1.32
Frágil	F1	1.23-1.26
Potencial	P	1.17-1.22
No afectada	N	<1.17

*AAS: Áreas ambientalmente sensibles a la desertificación.

Fuente: Kosmas et al. 1999.

b) Identificación de nuevos indicadores para complementar el modelo de sensibilidad.

- **Levantamiento de información primaria para suplir la falta de datos hidrológicos.**

Las áreas en estudio y de acuerdo a los diferentes diagnósticos emanados de diferentes instituciones (Ver apartado 2.3) los mayores problemas que presentan se relacionan con los impactos de las actividades productivas sobre la disponibilidad y calidad de las aguas y los problemas asociados a la salinidad y erosión de los suelos. Por esto se estudian los procesos asociados a:

- Entender los procesos que llevan a procesos de erosión y degradación hídrica para ambos casos en estudio y desarrollar un índice de riesgo (Resultados 3.2.1: Levantamiento de información primaria).

Existe una diferencia en cuanto a la cantidad de estudios documentados en ambas áreas de estudio. Por ejemplo en Maneadero, se cuenta con un gran acervo de datos gracias a los aportes de los investigadores de diversas universidades presentes en la zona. Se selecciona Maneadero como sitio piloto para proponer un subíndice que con base en la información disponible pueda ser propuesto para otras áreas de estudio.

En contraste, la cuenca del Puangue posee muy pocos estudios pero una gran participación de sus habitantes en procesos de toma de decisiones. Por este motivo se

presenta un artículo introductorio para caracterizar, con información local, los procesos de crecidas fluviales que es uno de los principales desencadenantes de procesos de erosión en la zona. Este dato es muy útil al aplicar el indicador de políticas de protección al territorio.

En esta fase se obtienen dos subíndices más, relacionados con el agua y el suelo, ya que en presencia de precipitaciones se presentan procesos de erosión y sedimentación y recarga del acuífero por lo que los indicadores son:

Subíndice de hidrología (Sh): En este caso el subíndice se orienta a la hidrología subterránea y se refiere al análisis de las condiciones dinámicas de los acuíferos, el movimiento del agua en las rocas y en el suelo. El conocimiento de la disponibilidad de agua y su comportamiento es fundamental para conocer el impacto de las actividades económicas sobre los recursos hídricos en zonas áridas. Si bien es cierto en el ejercicio para obtener el índice hidrológico para Maneadero se proponen cuatro indicadores, estos se reducen a dos, porque en la metodología de riesgo, las precipitaciones ya están como parte de la evaluación del clima y como la metodología tiene que ser aplicada a ambas áreas en estudio y para el caso del Puangue no se cuenta con el dato del total de sólidos disueltos, el subíndice queda compuesto por:

$$Sh = (\text{nivel freático} * \text{consumo de agua subterránea})^{1/2}$$

Debido a que la descripción y el levantamiento de información primaria acerca de la componente hidrológica arrojó que existe una estrecha relación de estos procesos con la erosión, es que se determina que es muy importante incluir este indicador. En consecuencia, la erosión es un indicador de impacto que se relaciona con el suelo por lo que se agrega a este subíndice.

Indicador de erosión: Es un proceso por el cual el suelo y roca es removido por acción del agua, el viento y otros agentes. Es uno de los procesos de degradación de la tierra más importantes, ya que proviene de la acción combinada de varios factores y en algunos casos sus efectos son irreversibles en el corto plazo. Al no tener mayor

información como para poder generar un índice propio y por su relación con el recurso suelo, éste indicador fue incluido en este subíndice.

En el caso de la erosión, para el Puangue si existe la información pero para Maneadero, se está evaluando según presencia o ausencia debido a la falta de datos.

Es así como este indicador es incluido en el subíndice de suelo de la siguiente manera:

$$Ss = (\text{textura} * \text{pendientes} * \text{pedregosidad} * \text{profundidad de suelo} * \text{drenaje} * \text{erosión})^{1/6}$$

Construcción del subíndice socioeconómico.

Geist y Lambin (2004) realizaron un meta-análisis, incluyendo 132 casos de estudio de varias partes en el mundo en los cuales muestran que el manejo de la tierra y el uso agrícola son las causas más importantes de la desertificación. Entre los principales indicadores socioeconómicos que estos autores encontraron para evaluar procesos de degradación de tierras secas se encuentran: la presión demográfica, la pobreza, la disponibilidad de mano de obra, disponibilidad de insumos, actividad productiva, la educación y los ingresos.

La elección de los indicadores para elaborar este subíndice se basa en las características de las zonas, ya que al analizar las características socioeconómicas se tiene que éstas áreas proveen de empleo a población dedicada a actividades económicas primarias, que no necesitan de mano de obra calificada. Por lo que para efectos de este trabajo el análisis incorpora los años de escolaridad y la pobreza. La tasa de cambio de uso de suelo es un indicador que suple en parte una de las limitaciones de modelo que menciona Salvati et al. (2009) por lo que se propone el siguiente subíndice socioeconómico :

$$Sse = (\text{Años de escolaridad} * \text{Tasa de cambio de uso de suelo} * \text{Pobreza})^{1/3}$$

3. El índice de riesgo

El modelo ESAS puede ser utilizado para definir áreas de riesgo utilizando indicadores básicos a los que le son agregados indicadores de vulnerabilidad social y económica

(Kosmas et al., 2005), por ejemplo los autores incorporan la edad de los agricultores como indicador de vulnerabilidad, bajo el supuesto de que a medida que aumenta la edad de los agricultores, se reducen las prácticas de manejo de la tierra.

El modelo es usado en el proyecto conocido como “DIS4ME” (Kosmas et al., 2005), un proyecto emblemático en la Unión Europea donde el concepto de riesgo de desertificación resume la sensibilidad de la tierra a una mayor degradación de acuerdo a las características naturales, socio-económicas y de manejo existente. Así, la evaluación del riesgo a la desertificación es un requisito previo de cualquier sistema de alerta temprana. En este sentido el modelo mezcla indicadores de peligro o amenaza y de vulnerabilidad, la cual se asume intrínseca en cada subíndice. Cuando estos valores son muy altos hay mayor riesgo a la desertificación. Una cuestión de suma importancia en proyecto DIS4ME, es que se generaron indicadores en 327 sitios de Grecia junto con los usuarios de la tierra.

Esto último, lo consideramos básico y por tanto es el fundamento de nuestro modelo. En DIS4ME, los autores agregan a la sensibilidad de la tierra, otros indicadores locales que permiten particularizar la evaluación y analizar el riesgo en un lugar determinado. En esta tesis consideramos que la gestión, entendida por las medidas políticas de protección e intensificación en el uso de suelo, afectan más directamente al estado de la vegetación.

El clima es un factor que influye directamente en los procesos de desertificación, de hecho en la literatura se hace hincapié en que alrededor del 20% de las causas de la desertificación son debido al clima. Es así como las precipitaciones son fundamentales en el ciclo hidrológico, la recarga de los acuíferos y los procesos erosivos, por lo cual se conecta de una manera especial con la hidrología.

Las características del suelo se relacionan más directamente con los procesos erosivos, mientras que las características socioeconómicas de la población corresponden a qué tan vulnerable se encuentra la población que habita estos lugares. Todas estas variables se comunican en un contexto más amplio como lo muestra la Figura 11.



Figura 11: Diagrama de variables relacionadas con la desertificación y sus relaciones.

Fuente: Basado en Kosmas et al.2005.

Una vez identificadas las variables y seleccionados los nuevos indicadores se revisa y valida su solidez científica con los trabajos realizados en el mundo. Una vez asignados los pesos para los nuevos indicadores (Tabla 2.5) se utiliza el siguiente logaritmo:

$$f(x) = (a_1 \times a_2 \dots a_n)^{1/n} \quad (\text{Ochola y Kerkides, 2004})$$

Fórmula 1

Donde n, es el número total de subíndices e indicadores del índice de riesgo.

En los casos donde se aplicó el modelo, las bases de datos fueron obtenidas a través de organismos gubernamentales, las cuales fueron trabajadas a través de imágenes vectoriales en un sistema de información geográfica (SIG). Cada unidad espacial es identificada en el mapa, asignándole un ponderador (Tabla 9), ya que tal como lo mencionan Ochola y Kerkides (2004), los procesos de degradación de la tierra ocurren en el espacio y son estos acontecimientos los que definen los indicadores de calidad y atributos de la tierra. Estos autores mencionan que cualquiera de los modelos

utilizados para reflejar el estado de la tierra debe ser capturado y gestionado en sistemas de información geográfica (SIG), para la visualización de los indicadores de los diferentes mapas temáticos. Con esta herramienta, los patrones espaciales pueden discernirse fácilmente y pueden ser concebidas soluciones para el uso del suelo.

Las bases cartográficas y las fuentes para cada área en estudio se muestran a continuación (Tabla 8):

Tabla 8: Coberturas de información.

Gobierno de Chile, Ministerio del Medio Ambiente, Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA)

Cobertura	Información de la cobertura	Escala de la fuente	Datum
Suelo	Características edafológicas	1:20 000	WGS84
Clima	Tipo de clima	1: 50000	WGS84
	Curvas de nivel	1:25000	WGS84
Vegetación	Tipo de vegetación	1:50000	WGS84
Uso de suelo	Uso de suelo	1:25000	WGS84
Aguas	Profundidad del agua		
Subterráneas	subterránea	1:25000	WGS84

Gobierno de México. Instituto Nacional de Estadísticas y Geografía

Cobertura	Información de la cobertura	Escala	Datum
Suelo	Conjunto de Datos Vectorial Edafológico,	1:250 000	WGS84
Geología	Conjunto de Datos Geológicos Vectoriales	1:250 000	WGS84
Uso de Suelo y Vegetación	Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación serie IV	1:250000	WGS84
Elaboración Propia		1:25000	WGS84
Uso de suelo	Cartografía de uso de suelo. Con base en cartografías aéreas INEGI, 1985-2010	1:37 000	WGS84
Aguas Subterráneas	Cartografía Total de Sólidos disueltos	1:25 000	WGS84
Aguas Subterráneas	Cartografía Niveles Piezométricos	1:25 000	WGS84

Como se ve en la Tabla 10, la vegetación, suelos, clima y vegetación están en términos de calidad, la hidrología como sensibilidad hidrológica o hídrica y lo socioeconómico como “vulnerabilidad socioeconómica”.

Debido a la falta de información algunos indicadores se identificaron a través de fotografías aéreas. Por ejemplo, la presencia o ausencia de áreas con evidencias de erosión.

Los indicadores referentes a pobreza, la tasa de crecimiento poblacional y la tasa de cambio de uso de suelo, son usados para construir el subíndice de vulnerabilidad socioeconómica y se toman de las bases oficiales de cada país.

De esta forma el índice propuesto es:

$$\text{Índice de riesgo a la desertificación} = (Sc * Sg * Ss * Sv * Sh * Sse)^{1/6}$$

Como en los casos de estudio la distribución de los resultados no es normal, son áreas heterogéneas con poblados concentrados, pocos lugares altamente desertificados y muchos con grados medios o bajos, los rangos se definen con una aplicación del SIG llamado *Natural Breaks* o inflexión de la curva (Tabla 11). No se usaron los rangos originales usados por Kosmas (1999) para evaluar la sensibilidad ambiental a la desertificación, debido a que haciendo las pruebas al modelo se comprobó que era necesario ajustar los rangos para definir las áreas en riesgo para cada lugar en particular

Tabla 9: Indicadores y ponderadores con los que se construye el índice de riesgo. En azul los nuevos indicadores con los que se forman los subíndices agregados al modelo de Kosmas et al. (1999).

Aspecto	Indicador	Parámetro	Valor	Aspecto	Indicador	Parámetro	Valor
Suelo	Textura	Descripción		Vegetación	Riesgo de Incendio	Tierra desnuda	1
Ss		(Arena, limo, arcilla)		Sv		Cultivos agrícolas anuales	1.3
		Bueno	1			Matorral y praderas	1.6
		Moderado	1.2			Matorral arborescente, matorral de suculentas, bosque nativo	2
		Poroso	1.6			Bosque nativo, matorral arborescente, matorral de suculentas	1
	Pendientes	Muy poroso	2	Protección a la erosión		Matorral y Praderas	1.3
		(%)				Cultivos agrícolas	1.6
		Muy suave a plano < 6	1			Tierra desnuda	2
		Suave 6 a 18	1.2			Matorral, matorral de suculentas, Matorral arborescente, bosque nativo	1
	Pedregosidad	Empinado 18 a 35	1.5	Resistencia a la sequía		Terrenos agrícolas	1.6
		Muy empinado > 35	2			Praderas	1.8
		Cobertura %				Cobertura vegetal (%)	
		Muy pedregoso > 60	1			> 40	1
	Profundidad	Pedregoso 20 - 60	1.3	Cobertura		10 a 40	1.8
		Desnudo a poco pedregoso	2			< 10	2
		cm				Áreas naturales	1
		Profundo > 75	1	Gestión	Intensidad en el uso del suelo	Zonas de recreo	1.2
	Drenaje	Moderado 75 - 30	2			Tierras agrícolas de uso extensivo	1.5
		Somero 15 - 30	3			Tierras agrícolas de uso intensivo	1.8
		Muy somero < 15	4			Minería	2
	Erosión	Según Drenaje		Políticas		Zonas Urbanas	2
		Bien drenado	1			Grado de regulación	
		Imperfectamente drenado	1.2			Completo: > 75% del área bajo protección	1
		Mal drenado	2			Parcial: 25 al 75% del área bajo protección	1.5
Clima	Precipitación	Con presencia de erosión	2	Hidrología	Nivel Piezométrico	Incompleto: < al 25% del área bajo protección	2
		Sin erosión	1			Superficial	1
		milímetros				Poco profundo	1.3
		> 650				Medianamente profundo	1.6
	Aridez	280 - 650		Consumo de agua según uso de suelo		Profundo	2
		<280				Cultivos agrícolas anuales	2
		BGI rango				Matorral y praderas	1.3
		<50				Matorral arborescente, matorral de suculentas, bosque nativo	1
	Orientación	50 - 75		Sh			
		75 - 100					
		100 - 125					
		125 - 150					
Socioeconómico	Sse	> 150					
		Exposición					
		SW y SE					
		NW y NE					
	Pobreza	Años de escolaridad					
		Bajo o igual al 0.5 grados porcentuales a la tasa regional/municipal	1				
		0.49 grados porcentuales superior o inferior a la tasa regional/municipal	1.6				
		Mayor o igual a 0.5 grados porcentuales a la tasa regional/municipal	2				
	Tasa de cambio de uso de suelo	Bajo o igual al 0.5 grados porcentuales al promedio regional/municipal	1				
		0.49 grados porcentuales superior o inferior al promedio regional/municipal	1.6				
		Mayor o igual a 0.5 grados porcentuales al promedio regional/municipal	2				
		Bajo o igual al 0.5 grados porcentuales a la tasa regional/estatal	1				
		0.49 grados porcentuales superior o inferior a la tasa regional/estatal	1.6				
		Mayor o igual a 0.5 grados porcentuales a la tasa regional/estatal	2				

*Para el hemisferio norte los ponderadores de orientación son al revés.

Tabla 10: Rangos de evaluación por cada variable.

Variable	Clasificación	Variable	Clasificación
Vegetación	Alta Calidad	< 1.33	Gestión Alta Calidad < 1.25
	Mediana Calidad	$\geq 1.33 < 1.42$	Mediana Calidad $\geq 1.25 < 1.51$
	Baja Calidad	≥ 1.42	Baja Calidad ≥ 1.51
Suelos	Alta Calidad	< 1.52	
	Mediana Calidad	$\geq 1.52 < 1.66$	
	Baja Calidad	≥ 1.66	
Clima	Alta Calidad	< 1.15	Hidrología Baja sensibilidad hídrica < 1.51
	Mediana Calidad	$\geq 1.15 < 1.81$	Mediana sensibilidad hídrica $\geq 1.51 < 1.69$
	Baja Calidad	≥ 1.81	Alta sensibilidad hídrica ≥ 1.69
Socioeconómico	Baja Vulnerabilidad	< 1.36	
	Mediana Vulnerabilidad	$\geq 1.36 < 1.59$	
	Alta Vulnerabilidad	≥ 1.59	

Fuente: Basado en Kosmas et al. 1999.

Tabla 11: Rangos para la evaluación del riesgo a la desertificación en El Puangue, Chile y Maneadero, México.

Tipo de Riesgo	Maneadero	Puangue
Bajo	<1.53	<=1.45
Medio	1.54-1.66	≥ 1.46 y ≤ 1.63
Alto	1.67-1.89	≥ 1.66 y ≥ 1.93

Fuente: Elaboración propia.

4. Aplicación del índice

Se hicieron tres pruebas de aplicación del modelo, dos de carácter comparativo entre los casos en estudio y uno incorporando el indicador hidrológico generado a través de la percepción social (Chile).

Se hizo en una prueba de aplicación el modelo para la comparación internacional de ambos lugares en estudio con un trabajo desarrollado en Irán en relación a la sensibilidad ambiental, por lo que permitió poner a ambas áreas en estudio en un contexto internacional.

Para la construcción del índice de riesgo se encontró que la selección de los indicadores depende sobre todo de la disponibilidad de los indicadores, más que de la capacidad del indicador para mostrar una situación, ya que por ejemplo en el caso de la hidrología subterránea se tuvo que eliminar el indicador de total de sólidos disueltos del modelo general, ya que para el Puangue este dato no se encontró. Con los diversos experimentos o aplicación comparativa de indicadores y agregación de indicadores en subíndices, se obtuvo que el conocimiento de las causas es significativo ya que en este caso permitió identificar la importancia de los indicadores relacionados con la erosión y las aguas subterráneas y que son cruciales para medir el riesgo a la desertificación en zonas agrícolas con climas tipo mediterráneo.

En la Figura 12 se muestra a manera de resumen, las relaciones entre los pasos metodológicos de esta tesis y los niveles sucesivos de la información.



Figura 12: Pasos metodológicos y relación con los niveles sucesivos de la información. La selección de indicadores parte de la disponibilidad de datos primarios, que son variables resultantes de otras investigaciones (Paso 1), hasta la construcción del índice de riesgo a la desertificación. Es necesario mencionar que, para los estudios en desertificación en general, pueden tener tantas variantes como particularidades puedan existir en los sitios (Paso 4).

2.5 Referencias

- Abraham, E. (2003). "Desertificación: bases conceptuales y metodológicas para la planificación y gestión". Aportes a la toma de decisión. Zonas Áridas, Lima, Centro de Investigaciones de Zonas Áridas, Univ. Agraria La Molina, N° 7, 19; 68, ISSN-1013-445.
- Abraham, E., E. Montaña, et al. (2006). Desertificación e indicadores: Posibilidades de medición integrada de fenómenos complejos. Scripta Nova X.
- Abubakar, S. M. (1997). Monitoring land degradation in the semiarid tropics using an inferential approach: the Kabomo basin case study, Nigeria. *Land Degradation & Development* 8(4): 311-323.

- Acton, D.F., and G.A. Padbury. (1993). A conceptual framework for soil quality assessment and monitoring. p. 2-10. In A program to assess and monitor soil quality in Canada: Soil quality summary. Res. Branch, Agric. Canada, Ottawa, ON.
- Bakr N, D. W., M. Bahnassy, M.El-Badawi (2012). Multi-temporal assessment of land sensitivity to desertification in a fragile agro-ecosystem: Environmental indicators. *Ecological Indicators* 15(1): 271-280.
- Basso, F., E. Bove, et al. (2000). "Evaluating environmental sensitivity at the basin scale through the use of geographic information systems and remotely sensed data: an example covering the Agri basin (Southern Italy)." *CATENA* 40(1): 19-35.
- Brandt, C. J., J. B. Thornes .(1996). Mediterranean desertification and land use. Wiley.
- CAZALAC, 2006. Zonación de los regímenes hídricos de América Latina y el Caribe desde una perspectiva climática. (Versión preliminar). Presentado en el IV Foro Mundial del Agua. México D.F., 17-23 de Marzo 2006.
- Censo Agropecuario. (2007). Recuperado el 15 de Febrero de 2009, de Sitio web del Censo Agropecuario: <http://www.censoagropecuario.cl>
- CONAF, C. n. (26 de Junio de 2007). Mapa preliminar de la desertificación en Chile. Recuperado el 01 de Febrero de 2012, de Sitio web Corporación Nacional Forestal CONAF: <http://www.conaf.cl>
- CONAGUA. (2002). Determinación de la disponibilidad del Agua en el Acuífero de Maneadero, Estado de Baja California. Gerencia de Aguas Subterráneas. Subdirección General Técnica. Subgerencia de Evaluación y Modelación Hidrogeológica.
- Congreso Nacional de Chile. 2012. La desertificación en Chile. Unidad de diagnóstico parlamentario. Departamento de evaluación de la ley. Valparaíso-Chile.
- Contador, J. F. L., S. Schnabel, et al. (2009). "Mapping sensitivity to land degradation in Extremadura. SW Spain." *Land Degradation & Development* 20(2): 129-144.
- Doran, J.W. and T.B. Parkin. (1996). Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. In J.W. Doran and A.J. Jones, eds. *Methods for Assessing Soil Quality*. SSSA, Inc., Madison, Wisconsin, USA.

- Farajzadeh M. and Nik Egbal M., (2007). Evaluation of MEDALUS model for desertification hazard zonation using GIS; Study area: Iyzad Khast Plain, Iran. Pakistan Journal of Biological Science 10 (16): 2622-2630. Asian Network for Scientific Information.
- Fantechi, R. (1995). Desertification in a European Context: Physical and Socio-economic Aspects, European Commission.
- Filiberto, R., Mantelga, M. A., Sunyer, C., García, M.M, Alvarez Arenas, M. (1996). Indicadores ambientales. Una propuesta para España. Ministerio de Medio Ambiente. Serie Monografías. Madrid, 146 pp.
- Gardi, C., Angelini, M., Barceló, S., Comerma, J., Cruz Gaistardo, C., Encina Rojas, A., Jones, A., Krasilnikov, P., Mendonça Santos Brefin, M.L., Montanarella, L., Muñiz Ugarte, O., Schad, P., Vara Rodríguez, M.I., Vargas, R. (eds). (2014). Atlas de suelos de América Latina y el Caribe, Comisión Europea - Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, L-2995 Luxembourg, 176 pp
- Geist H. y Lambin, E. (2004). Dynamic Causal Patterns of Desertification. BioScience 54(9).
- Hadeel, A. S., M. Jabbar, et al. (2010). Application of remote sensing and GIS in the study of environmental sensitivity to desertification: a case study in Basrah Province, southern part of Iraq. Applied Geomatics 2(3): 101-112.
- Klintonberg, P. and M. Seely (2004). "Land Degradation Monitoring in Namibia: A First Approximation." Environmental Monitoring and Assessment 99(1-3): 5-21.
- Kosmas C., M. T., N. Moustakas, D. Kosma & N. Yassoglou (2005). Environmentally Sensitive Areas and Indicators of Desertification. Desertification in the Mediterranean Region. A Security Issue: Proceedings of the NATO Mediterranean Dialogue Workshop, Held in Valencia, Spain, 2-5 December 2003. J. L. R. William G. Kepner, David A. Mouat, Fausto Pedrazzini, Springer: 614.
- Kosmas, C., M., Krikby y N. Geeson. (1999). Manual on key indicator of desertification and mapping environmentally sensitive areas for desertification, European Commission.

- Laniak, G, J. Goodall et al. (2013). Integrated Environmental Modeling: A Vision and Roadmap for the Future', *Environmental Modelling & Software*, 39 (2013), 3-23.
- Licona A. (2011). Sistema de información integral del acuífero de Maneadero, B.C., México con fines de Manejo. Tesis de Maestría en Ciencias en Manejo de Ecosistemas de Zonas Áridas.
- López Bermúdez; F., González Barbera, G. (2000). Indicators of Desertification in Semiarid Mediterranean Agroecosystems of Southeastern Spain. En G. Enne, M. D' Angelo y A. Aru (Eds), *Indicators for assessing desertification in the Mediterranean*. Observatorio Nazionale sulla Desertificazione, European Commission, DG-XII. Porto Torres, Cerdeña, Italia. 164-176.
- López Bermúdez, F. (1999). Indicadores de la desertificación: una propuesta para las tierras mediterráneas amenazadas. *Murgetana* 100: 113-128. Murcia.
- López Bermúdez, F., Romero Díaz, A. (1998). Erosión y desertificación: implicaciones ambientales y estrategias de investigación. *Papeles de Geografía*, 28: 77-89. Murcia.
- Morse W., M. Nielsen-Pincus et al. (2007). Bridges and barriers to developing and conducting interdisciplinary graduate-student team research. *Ecology and Society* 12(2): 8.
- Mouat, D., J. Lancaster, et al. (1997). "Desertification Evaluated Using an Integrated Environmental Assessment Model." *Environmental Monitoring and Assessment* 48(2): 139-156.
- Ochola W., and Kerkides P. (2004). An Integrated Indicator-Based Spatial Decision Support System for Land Quality Assessment in Kenya', *Computers and Electronics in Agriculture*, 45: 3-26.
- OECD (Organization for Economic Cooperation and Development). (2003). *Environmental Indicators: Development, Measurement and Use*. Organisation for economic co-operation and development. <http://www.oecd.org/env/>
- OECD (Organization for Economic Cooperation and Development). 1993. *OECD core set of indicators for environmental performance reviews*, Paris.

- Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable Baja California. 2013. Panorama General de Maneadero Baja California. Secretaría de Fomento Agropecuario. <http://www.oeidrus-bc.gob.mx>
- Oropeza, O. y G. Alfaro. (2007). Evaluación de la vulnerabilidad a la desertificación. Instituto Nacional de Ecología.
- Oropeza, O. y G. Alfaro. (1994). Marco teórico metodológico de la vulnerabilidad a la desertificación. Memorias del Primer Taller de Estudio de País: México. México ante el cambio climático. Pp. 121-130. México: INE, U.S. Country Studies Program Support for Climate Change Studies, UNAM.
- Pieri C., J. Dumanski, Hamblin Ann y Anthony Young. (1995). Land Quality Indicators. World Bank Discussion Papers. The International Bank for Reconstruction and Development/ The World Bank. Washington, D.C.
- Pizarro, R., Morales, C. et al. 2010. Evaluación de la Erosión Hídrica Superficial en Zonas Áridas y Semiáridas de Chile Central. Aqua-LAC - Vol. 2 - Nº 2 - Sep. 2010. pp. 1-11.
- Quiroga R. (2009). Guía metodológica para desarrollar indicadores ambientales y de desarrollo sostenible en países de América Latina y el Caribe. Series manuales CEPAL, Santiago de Chile.
- Reed, M. S., M. Buenemann, et al. (2011). "Cross-scale monitoring and assessment of land degradation and sustainable land management: A methodological framework for knowledge management." *Land Degradation & Development* 22(2): 261-271.
- Reynolds, J. F., D. M. S. Smith, et al. (2007). "Global Desertification: Building a Science for Dryland Development." *Science* 316(5826): 847-851.
- Rubio, J. L. and E. Bochet (1998). Desertification indicators as diagnosis criteria for desertification risk assessment in Europe. *Journal of Arid Environments* 39(2): 113-120.
- Rzedowski, J. (2006). *Vegetación de México*. 1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, 504 pp.

- Salvati, L., M. Zitti, et al. (2009). "Developing a Synthetic Index of Land Vulnerability to Drought and Desertification." *Geographical Research* **47**(3): 280-291.
- Salvati, L. and S. Bajocco (2011). "Land sensitivity to desertification across Italy: Past, present, and future." *Applied Geography* **31**(1): 223-231.
- SCOPE. 1995. Environmental Indicators: Systematic Approach to Measuring and Reporting on the Environment in the Context of Sustainable Development. Paper by the Project on Indicators of Sustainable Development of the Scientific Community on Problems of the Environment (SCOPE) presented at an International Workshop on Indicators of Sustainable Development for Decision-Making, 9-11 January, Ghent, Belgium.
- SEDESOL, 2010. Secretaría de Desarrollo Social, México. <http://www.microrregiones.gob.mx/catloc/contenido.aspx?refnac=020010139>
- SEMARNAT, (2012). Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental. Edición 2012. México. 2013.
- SEMARNAT, (2000). Indicadores para la evaluación del desempeño ambiental. Reporte 2000.
- Sommer, S., C. Zucca, et al. (2011). "Application of indicator systems for monitoring and assessment of desertification from national to global scales." *Land Degradation & Development* **22**(2): 184-197.
- UNEP (1992). World Atlas of Desertification and Changes in Land Use. Edward Arnold. Londres. United Nations Environment Programme.
- Universidad de Chile, 1997. Diagnóstico de la Desertificación en Chile, Ministerio de Agricultura.
- Verbist K., Santibañez F., Gabriels D. y G. Soto. (2010). Atlas de Zonas Áridas de América Latina y El Caribe. CAZALAC. Documentos Técnicos del PHI-LAC.
- Vogt, J. V., U. Safriel, et al. (2011). Monitoring and assessment of land degradation and desertification: Towards new conceptual and integrated approaches. *Land Degradation & Development* **22**(2): 150-165.

Zhang, Y., Z. Chen, et al. (2008). "Land desertification monitoring and assessment in Yulin of Northwest China using remote sensing and geographic information systems (GIS)." *Environmental Monitoring and Assessment* 147(1-3): 327-337.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

Donde haya un árbol que plantar, plántalo tú. Donde haya un error que enmendar, enmiéndalo tú. Donde haya un esfuerzo que todos esquivan, hazlo tú. Sé tú el que aparta la piedra del camino.

Gabriela Mistral

3.1 Diseñar una estrategia para el estudio y gestión de la desertificación.

3.1.1 Una revisión de la investigación sobre desertificación y una propuesta metodológica para el monitoreo y gestión

Resumen

La desertificación es un proceso complejo que reduce la productividad y el valor de los recursos naturales de zonas áridas, como resultado tanto de las variaciones climáticas como de las acciones humanas adversas. Diversos autores reconocen que la investigación sobre desertificación ha sido estudiada separadamente, por un lado las dimensiones biofísicas y por otro las socioeconómicas. Asimismo, se menciona la falta de un marco conceptual apropiado de análisis que considere ambas dimensiones simultáneamente. Por lo tanto el objetivo de esta investigación es hacer un análisis de la literatura disponible en las bases de datos bibliográficas como Springer, Elsevier, Ebsco, Emerald, Wiley y Annual Reviews entre abril y octubre del 2012, sobre artículos con la palabra “desertification” en el título para analizar la evolución de la disciplina a la interdisciplina y proponer el marco conceptual faltante. Se obtuvieron 275 artículos, de los cuales 134 eran estudios de caso donde fueron aplicadas metodologías para evaluar la desertificación en diferentes lugares del mundo y 15 artículos corresponden a marcos conceptuales acerca de la desertificación.

1. Introducción

United Nations Convention to combat desertification (UNCCD, 2011) estimó que entre 1981 y 2003 se degradó el 24% de la tierra a nivel mundial. La desertificación se define como un proceso complejo que reduce la productividad y el valor de los recursos naturales en el contexto específico de condiciones climáticas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, como resultado tanto de las variaciones climáticas como de las acciones humanas adversas (United Nations , 1992).

Según la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (EEM, 2005), la desertificación es el resultado de los enfoques de manejo adoptados por los usuarios de la tierra quienes provocan usos del territorio insostenibles porque no pueden responder adecuadamente a factores indirectos de presión como es el crecimiento poblacional y la globalización. En la EEM se mencionan los siguientes elementos que aumentan la degradación de los recursos naturales en zonas secas:

- Políticas que conducen al uso no sostenible de los recursos y a la carencia de la infraestructura de apoyo.
- Las prácticas de tenencia de la tierra y las políticas que animan a los usuarios de la tierra a explotar excesivamente los recursos de la misma.
- La existencia de procesos actuales de globalización que amplifican o atenúan las fuerzas impulsoras de la desertificación al eliminar barreras regionales, debilitar las conexiones locales y aumentar la interdependencia entre las personas y entre las naciones.

La Agenda de Río+20 (2012) menciona la importancia del desarrollo y la aplicación de bases científicas, métodos racionales y socialmente inclusivos de indicadores para el monitoreo y evaluación del alcance de la desertificación, la degradación de tierras y la sequía, en este contexto el estudio de la desertificación desde la interdisciplina surge como alternativa viable en la cual hay mucho por hacer.

Como antecedente conocemos que las evaluaciones del estado de la desertificación son realizadas con indicadores y generalmente usan la clasificación de la Organisation

for Economic Co-operation and Development, (OECD, 1993 y 1997) , con las siglas PER (1) en presión , (2) estado y (3) respuesta.

- (4) Los indicadores de presión son factores indirectos que permiten analizar las interacciones entre las presiones ejercidas por las actividades humanas sobre los recursos naturales.
- (5) Los indicadores de estado permiten observar cambios en la calidad de los recursos o condiciones del sistema (incluyendo factores bio-físicos y socio-económicos).
- (6) Los indicadores de respuesta son las acciones o intervenciones que se toman en respuesta a esos cambios, en el intento de mitigar o eliminar las presiones y de recuperar los recursos naturales que están siendo degradados.

La Agencia Europea para el Medio Ambiente usa una extensión del modelo anterior llamado Driving forces-Pressures- State- Impact- Responses (DPSIR), el cual plantea que el desarrollo social y económico ejerce presión en el medio ambiente, y como consecuencia el estado del medio ambiente cambia. Lo anterior conduce a Impactos sobre la salud humana, los ecosistemas y materiales que pueden provocar una respuesta de la sociedad que se alimenta luego en las fuerzas motrices. Este modelo describe una situación dinámica con atención a los feedbacks en el sistema.

En el presente documento se analizan las características de los estudios en desertificación, examinando la forma como se refleja la interdisciplina en 134 casos de estudio. Considerando que, en los estudios disciplinarios la integración del vocabulario es autónomo, los investigadores realizan sus investigaciones en forma independiente, están guiados por un paradigma disciplinario y confían en él, utilizando los enfoques tradicionales el conocimiento se realiza dentro de la disciplina, surgiendo nuevas preguntas dentro de ella y los productos son publicados en revistas disciplinarias (Morse et al., 2007).

En la multidisciplina la integración del vocabulario es colaborativo, el equipo une fuerzas, pero los miembros investigan en paralelo, pero enmarcados por sus propios

paradigmas disciplinarios, se genera conocimiento en cada disciplina y las conclusiones pueden generar preguntas que son aplicables a otras disciplinas y los resultados se publican en revistas disciplinarias. En la interdisciplina, hay integración del vocabulario, los miembros del equipo se coordinan a lo largo del proyecto, la problematización es a través de múltiples disciplinas pero deben aceptar los paradigmas ajenos y que en muchas ocasiones coordina todo el diseño de la investigación y el conocimiento generado puede tener impacto en varias disciplinas. En la transdisciplina el vocabulario se combina, la investigación se realiza en forma colectiva y se transgreden las fronteras de las propias disciplinas (se incorpora el conocimiento empírico), la definición del problema se realiza bajo una epistemología propia (postmoderna de acuerdo a Funtowitz y Ravens, 2000), que refleja la naturaleza del problema, diseñando nuevos marcos conceptuales y el diseño, las preguntas, los métodos y las escalas son desarrollados colectivamente (Morse et al., 2007). Tanto en la inter como en la transdisciplina los resultados se publican en revistas interdisciplinarias, las cuales hasta muy recientemente ofrecen más variedad, oferta y varias ya empiezan a ser revistas indizadas.

Como antecedente de peticiones para estudiar la desertificación interdisciplinariamente, están los trabajos de Sanders (1986), Reynolds *et al.* (2005) y Reynolds et al (2007) entre otros, quienes reconocen que las dimensiones biofísicas y socioeconómicas de la desertificación han sido estudiadas separadamente. Por un lado, los científicos de las ciencias naturales demuestran que hay desertificación a través de describir cambios en los procesos físicos como la erosión, la pérdida de cobertura vegetal o la compactación del suelo y por otro, los de las ciencias sociales indican como la sociedad y las fuerzas económicas han permitido que se desencadenen los procesos físicos que caracterizan a la desertificación. Sin embargo, estos autores mencionan la falta de un marco conceptual apropiado de análisis que considere ambas dimensiones simultáneamente.

Cabe citar que Vogt et al. (2011), Reed et al. (2011), König, et al., (2013) y Seidl et al. (2013) plantean marcos conceptuales novedosos donde las ciencias humanas forman parte de la gestión de la investigación interdisciplinaria. Esta se diseña como un

proyecto con una organización particular que ayuda a la creación de flujos de trabajo eficiente y estructuras de funcionamiento dentro del equipo directivo y el usuario externo. La dinámica que se impone en este marco organizacional es una herramienta útil durante la vida del proyecto para la comprensión de las tensiones que pueden surgir y para analizar las fortalezas y debilidades de su gestión. Se mezclan métodos cuantitativos que analizan y organizan la información y técnicas cualitativas para la comunicación de la información.

Por lo tanto, el reto actual y urgente, es adoptar un nuevo enfoque interdisciplinario para tratar este tema de una manera global (Reynolds *et al.* 2002). El conocimiento de la evolución de los estudios sobre el fenómeno y su carácter mono o pluridisciplinario de los estudios sobre desertificación y la incorporación de un marco conceptual de investigación interdisciplinaria permitirá por un lado, identificar los avances y generar una visión crítica ante la evolución de los resultados sobre las investigaciones sobre desertificación en el mundo y por otro lado, permitirá proponer un esquema para atender los desafíos que impone una aproximación inter y/o transdisciplinaria de la investigación aplicada sobre desertificación.

Dado lo anterior, nos hemos planteado las siguientes preguntas: ¿cuánto se ha avanzado en la generación de metodologías incluyentes sociedad-ambiente?, ¿Se está trabajando en las universidades el tema de manera interdisciplinaria? ¿Con cuántas y qué tipo de variables se está trabajando en las investigaciones sobre desertificación? ¿Qué tipo de investigaciones son las que se están publicando en las revistas científicas? y por último si estas investigaciones reflejan el avance conjunto del desarrollo de indicadores biofísicos y socioeconómicos integrados como debería ser desde la interdisciplina y con la participación pública e incorporación del conocimiento empírico como sería desde la transdisciplina.

Resolviendo estas preguntas, y dado los resultados encontrados proponemos un marco conceptual-metodológico para la investigación transdisciplinaria de la desertificación en sitios ya desertificados, en proceso de desertificación o propensos a sufrir desertificación.

2. Metodología

Se realiza una búsqueda bibliográfica en los sitios Springer, Elsevier, Ebsco, Emerald, Wiley y Annual Reviews entre abril y octubre del 2012, sobre artículos con la palabra “desertification” en el título. Se obtuvieron 275 artículos, de los cuales 134 eran estudios de caso donde fueron aplicadas metodologías para evaluar la desertificación en diferentes lugares del mundo y 15 artículos corresponden a marcos conceptuales acerca de la desertificación.

Las 149 publicaciones seleccionadas tienen la información y características que muestran la Tabla 12, las que no contenían esta información en su metodología no fueron contempladas en el análisis.

Tabla 12: Clasificación de la literatura encontrada para revisar investigaciones sobre desertificación en el mundo.

Clasificación de los estudios de Aspecto casos

Distribución geográfica	País y Continente
Instituciones y autores de los estudios de casos	Participantes en la publicación e instituciones.
Definición de desertificación	Marco conceptual
Nivel de integración	Tipos de estudios (disciplinarios, multidisciplinarios, interdisciplinarios, transdisciplinarios, pluridisciplinarios).
Tipo de investigación	Se separan los trabajos que dicen ser análisis documental de los que indican trabajo de campo (la palabra utilizada para los estudios documentales fue “gabinete”, las investigaciones de campo fueron clasificadas a su vez en “trabajo de campo para toma de muestras y análisis en laboratorio” y “trabajo de campo ciencias sociales” y también se clasificaron según número de variables en las evaluaciones (univariadas, bivariadas, multivariadas), según tipo de indicadores (biofísico o socioeconómico) y utilización de uno o varios indicadores.
Análisis de metodologías	Se analizaron los marcos metodológicos considerando las características de la disciplina y pluridisciplina (multi, interdisciplina y transdisciplina de acuerdo a las definiciones de Morse, et al., 2007). Se analizan y clasifican los artículos según los pasos metodológicos que proponen.

3. Resultados y discusión

Diagnóstico de las publicaciones.

La distribución geográfica de las publicaciones sobre desertificación es heterogénea. Existen estudios de caso en todos los continentes, sin embargo China es el país que concentra casi la tercera parte (27.6%) del total de los artículos, por lo que Asia es el continente con más publicaciones sobre desertificación.

Los países emergentes han sido más estudiados que los países desarrollados y estos más que los países de bajo desarrollo (Figura 13). En este contexto, es de esperarse que Asia sea el continente con mayores publicaciones, ya que es el continente con mayor superficie de zonas áridas, semi áridas y subhúmedas secas en el mundo, según muestra la Tabla 13.

El caso de África es muy diferente a pesar de que es el segundo continente con mayor superficie de zonas áridas, semi áridas y subhúmedas secas, no posee un número significativo de estudios de casos, pensamos que esto se debe a que por ser un continente con un desarrollo económico mínimo, los recursos de los países están orientados a superar la pobreza más que a desarrollar investigación con la aplicación de indicadores.

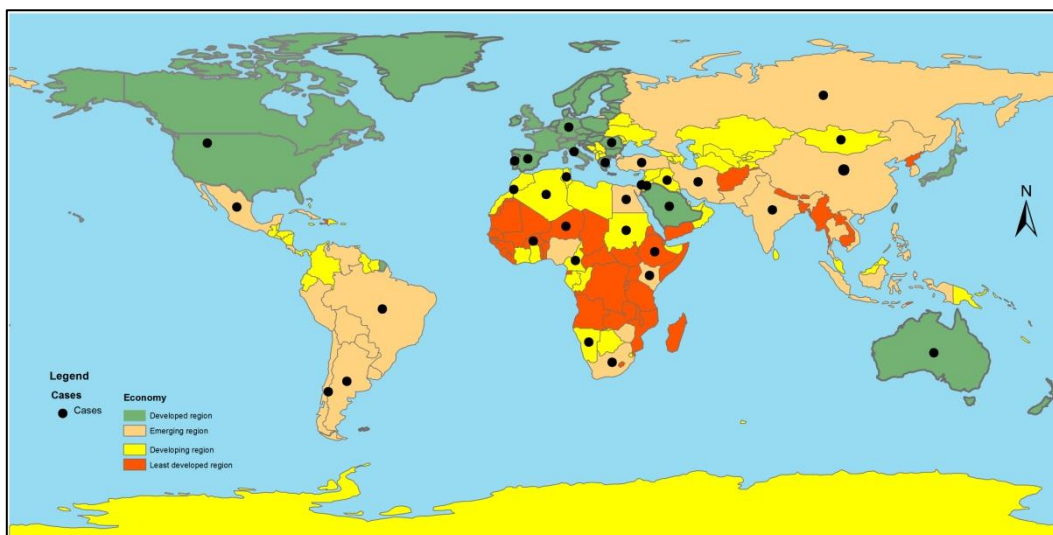


Figura 13 : Niveles de desarrollo económico y distribución de los estudios de casos, base cartográfica www.naturelearthdata.com.

Los segundos países con más publicaciones son los desarrollados, a pesar de que su superficie árida, semiárida y subhúmeda seca es menor en porcentaje a otros países, el número de publicaciones es alta, creemos que esto se debe a la mayor inversión en estudios e investigación, y refleja la desigualdad existente entre los países con pocos recursos y aquellos con mayores posibilidades para desarrollar investigación y publicar.

Tabla 13: Superficie de zonas áridas en millones de hectáreas y porcentajes por continentes. Fuente: FAO, 2004.

Continente	Árido	Extensión			Total	Árido	Porcentaje		Total
		Semi- árido (million ha)	Subhúmedo Seco				Semi- árido	Subhúmedo Seco	
África	467.6	611.35	219.16	1298.11	16.21	21.2	7.6		45.01
Asia	704.3	727.97	225.51	1657.78	25.48	26.34	8.16		59.98
Oceanía	459.5	211.02	38.24	708.76	59.72	27.42	4.97		92.11
Europa	0.3	94.26	123.47	218.03	0.01	1.74	2.27		4.02
América del Norte	4.27	130.71	382.09	517.07	6.09	17.82	4.27		28.18
Sud América	5.97	122.43	250.21	378.61	7.11	14.54	5.97		27.62
Total	1 641.95	1 897.74	1 238.68	4778.36					

Como muestra la Figura 14, la mayoría (82.1%) de los estudios de caso han sido publicados por universidades sin participación de organismos de gobierno, ONG's o empresas de consultoría. Esto muestra la escasa vinculación entre las instituciones generadoras de conocimiento y los tomadores de decisiones. Los 21 estudios de casos que si tienen la participación de las instituciones de gobierno no necesariamente son interdisciplinarios. Lo anterior es relevante, ya que Landry et al. (2003) sugiere dar mayor atención a las relaciones entre investigadores y usuarios en las diferentes etapas de producción de conocimiento, difusión y utilización, ya que rara vez la investigación proporciona una "respuesta" que los actores políticos pueden emplear para resolver un problema de política

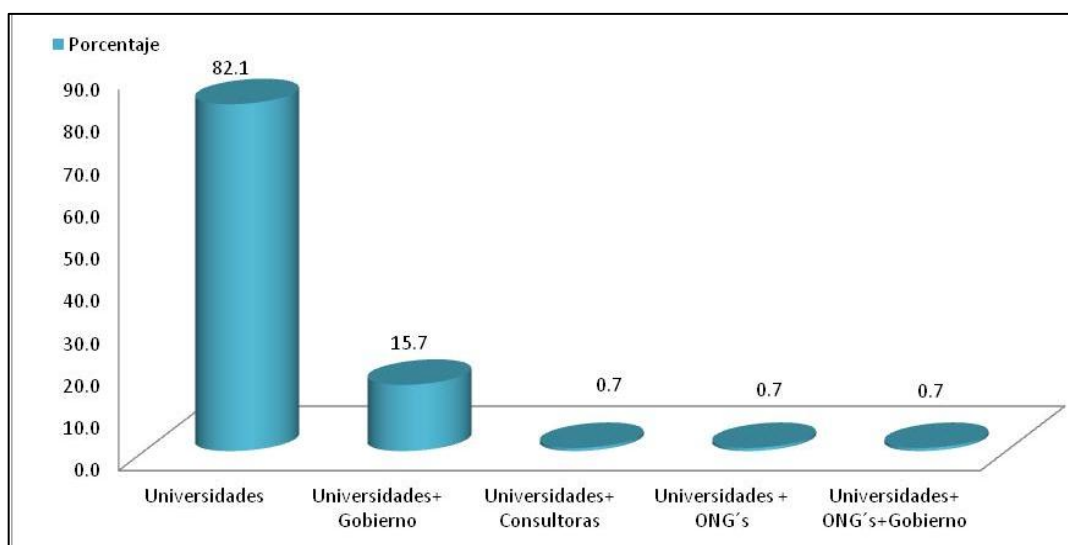


Figura 14: Instituciones que publicaron los estudios de casos sobre desertificación en el mundo.

Es muy interesante que 71 de las 134 publicaciones les falta en el marco conceptual la definición de desertificación. Esta ausencia da lugar a cuestionamientos que son importantes de considerar, porque en la literatura se discute la condición irreversible de la desertificación, la connotación política que se la ha dado a través de las múltiples convenciones internacionales y la similitud (y por tanto confusión) con el concepto de degradación de tierras (Le Houérou, 1996). Pensamos que estas discusiones se dan porque: 1) hay múltiples interpretaciones de la definición de desertificación, 2) se usan múltiples escalas espacio-temporales 3) hay un variado número de indicadores utilizados para evaluarla, y 4) hay una falta de consenso con respecto a los indicadores claves mínimos para cuantificar un proceso de desertificación. Lo que se traduce en un déficit en la estandarización del monitoreo de la desertificación Vogt et al., (2011).

Para ello analizamos cronológicamente las definiciones de desertificación y en el cuadro 2 ejemplificamos con algunas. Encontramos que de las 134 publicaciones de estudios de casos, la mitad (53%) no mencionan una definición de desertificación, la tercera parte (31%) se basan en la definición de la United Nation (1992) y 15.7% plantean sus propias definiciones de desertificación (Tabla 14).

Es importante mencionar que la falta de una definición concertada es importante porque leemos que los autores están entendiendo cosas diferentes por desertificación. Por ejemplo, hay artículos que son resultados de estudios disciplinarios de suelo, o de

clima o de cobertura vegetal y que no necesariamente son estudios de desertificación. Es decir, pueden confundirse con estudios de erosión o de cambio de uso de suelo descontextualizados de los planteamientos metodológicos planteados para estudiar la desertificación (Avni et al., 2006; Castellano and Valone, 2007; Ajai et al., 2009). Otros artículos describen las causas que originan la desertificación en un área particular pero no en el contexto de la complejidad de la desertificación (Gaur y Gaur, 2004; Danfeg et al., 2006).

Sin embargo, la definición de la UNCCD, en realidad resume a todas las citadas, ya que menciona que la desertificación es un proceso que ocurre en zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas. Por la confusión que existe con respecto a su definición algunos autores han llamado desertificación a procesos de degradación de tierras en zonas subtropicales (Wu, Liu, Huang, y Zhou, 2011). En resumen, parece que existe confusión en los trabajos con respecto al sector climático al cual se refiere la desertificación. Es decir, para el trópico húmedo o las zonas templadas, se deberá referir a la degradación del suelo y la pérdida de vegetación natural de otra manera, pero no desertificación.

Tabla 14: Evolución de las definiciones de desertificación. Ejemplos tomados de una revisión de 134 publicaciones.

Artículo	Autor	Definición	Cita
Local spatiotemporal dynamics of a simple aridity index in a region susceptible to desertification	Costa &A. Soares, 2012	Desertification, the process of land degradation in dry areas, is one of the most complex environmental and socio-economical threatening events	Verstraete, 1986
Varios artículos	Varios artículos	Land degradation in arid, semi-arid and dry sub-humid regions resulting from various factors, including climatic variations and human activities	UNCCD, 1994
Early warning indicators of desertification: examples of tests in the Chihuahuan Desert	Amrita de Soyza et al., 1998	Desertification in the context of the formerly perennial grass-dominated rangelands of the south-west United States may be defined as a change in scale of the spatial distribution of water, nutrients, and other soil resources	Definición propia
The hydrological indicators of desertification	Sharma , 1998	Desertification is attributed to natural phenomena and to human activities that degrade the land through mismanagement of the basic factors of land use systems, including soil, water and vegetation.	Definición propia
Desertification and climate change: the case for greater convergence	Grainger et al., 2000	Desertification, the process of land degradation in dry areas, is the 'Cinderella' of global environmental change	Definición propia
Land sensitivity to desertification across Italy: Past, present, and future	Luca Salvati*, Sofia Bajocco, 2011	In dry areas LD? Is? coupled with extreme bio-physical and socio-economic phenomena and may turn into an irreversible process of environmental degradation, that is desertification	Montarella, 2007
Desertification in Jordan	Mu'tazal-Alawi, 2008	Desertification is a deterioration process in which ecosystems lose the ability to survive, leading to the deterioration of land and its production and leading to the vanishing of the land's economic output.	Definición propia
Shrub encroachment can reverse desertification in semi-arid Mediterranean grasslands	Maestre et al., 2009	Desertification as land degradation, having socioeconomic impacts, in arid, semi-arid and dry sub-humid areas resulting at least partially from anthropogenic activities	Reynold's et al., 2007
An application of mathematical models to select the optimal alternative for an integral plan to desertification and erosion control (Chaco Area – Salta Province – Argentina)	Grau et al. 2010	Desertification is the soil quality loss	Definición propia

Por otro lado, encontramos que los estudios de caso analizados, reflejan el estado del arte en el avance de los estudios interdisciplinarios en desertificación. Es decir, el análisis muestra que los estudios disciplinarios forman gran parte de los estudios de

casos, seguidos de los multidisciplinarios y son muy escasos los trabajos interdisciplinarios y todavía menos los transdisciplinarios (Figura 15).

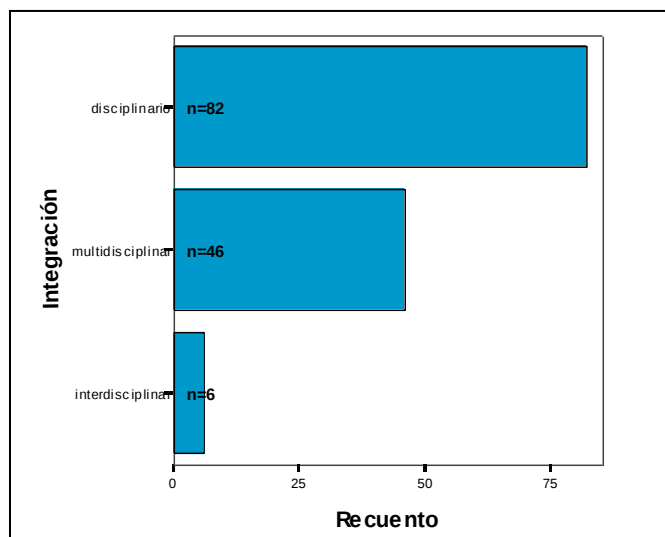


Figura 15: Número de estudios de casos y nivel de integración.

Un aspecto importante, es que los trabajos interdisciplinarios han sido realizados tan solo en los últimos siete años. Asimismo, en estos últimos años ha habido un mayor número de publicaciones con respecto al tema de desertificación, concentrándose el 86.1% del total de los estudios de casos entre los años 2005 al 2012.

3.2 Diagnóstico de las investigaciones

Encontramos que el 93% de los estudios utilizan múltiples indicadores en las evaluaciones de la desertificación, pero de forma disciplinaria o multidisciplinaria. Es decir, los indicadores caracterizan a una sola variable o tipos de variables. Por ejemplo, la variable climática puede ser caracterizada por los indicadores de aumento de la temperatura y/o por régimen de las precipitaciones. La Figura 16, muestra que, aunque los estudios de casos pueden utilizar múltiples indicadores, estos están concentrados en una o dos variables, ya sea física, biológica, social o económica (61.2% son uni o bivariables).

Es interesante notar que, aunque el 65% de las publicaciones con estudios de caso utilizan combinaciones de indicadores biofísicos y/o socioeconómicos, no existe una forma universal de integración y, la mayoría de los artículos, solo son descripciones de

las condiciones de un lugar y no se relacionan a las causas, menos a dar soluciones para aliviar el problema de la desertificación.

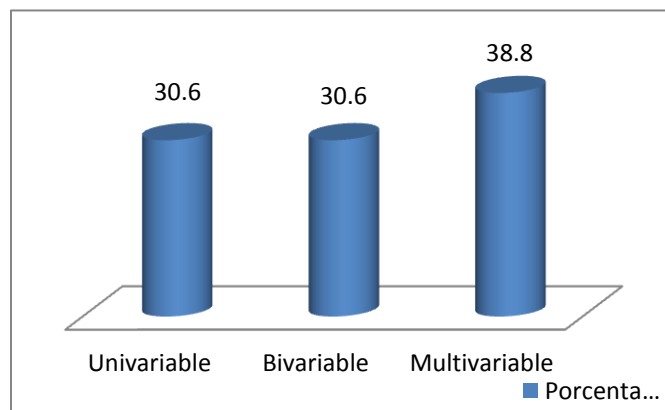


Figura 16: Número de variables utilizadas en las 134 publicaciones con estudios de caso sobre desertificación.

Por otro lado, es interesante notar que el 70.9% de los estudios de caso son de gabinete, es decir no producen datos propios, si no que citan información preexistente. El 18.7% de las publicaciones analizadas corresponden a estudios de caso en donde si se tomaron muestras en campo tanto en mediciones de cobertura vegetal y aspectos relacionados con el suelo. El 9% fueron estudios de tipo social (con entrevistas y encuestas en el campo) y solo un 1% de los estudios analizados, trabajaron aspectos tanto sociales como naturales con tipos de muestreo en el campo (Figura 17).

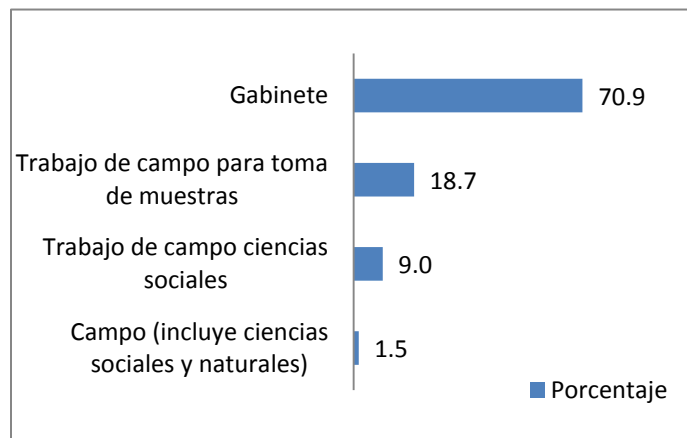


Figura 17: Tipos de estudios según los datos de gabinete o de campo.

Es importante mencionar que en la sección de metodología de estos trabajos, no se menciona la forma de vinculación con la sociedad y tomadores de decisiones. El considerable número de trabajos realizados desde gabinete permite dudar sobre las formas en que los trabajos son comunicados a los tomadores de decisiones por parte de los investigadores o como la sociedad comunica su conocimiento empírico y necesidades a los cuerpos de investigación sobre desertificación. Nos parece que es sumamente necesario, que dentro de los equipos de trabajo, haya especialistas en comunicación para generar los puentes sociedad-investigación.

3.3. Una propuesta teórica-metodológica para la gestión transdisciplinaria de espacios desertificados o sensibles a la desertificación.

De acuerdo a Sivakumar (2007) , es muy importante adoptar criterios uniformes y métodos para evaluar la desertificación y fomentar la supervisión de degradación de tierras secas en todas las regiones del mundo. En este sentido, se han hecho esfuerzos principalmente por proyectos patrocinados por la Naciones Unidas, entre ellos se puede mencionar GLASOD (<http://www.isric.org/projects>). Sin embargo, GLASOD se limita a la degradación del suelo y no incluye la degradación del recurso tierra, incluyendo aspectos del clima, la vegetación y los recursos hídricos. Además se basa en juicios de expertos de status de la degradación del suelo (tipo, grado, grado, tipo y

causa) a nivel nacional y sub-nacional y, como tal, tiene necesariamente un componente subjetivo (Vogt et al., 2011).

Otro esfuerzo mundial es el World Overview of Conservation Approaches and Technologies (WOCAT, <http://www.isric.org/projects>), un proyecto que trabaja en distintas escalas desarrollando una metodología enmarcada en la documentación, monitoreo, evaluación y difusión para la administración sustentable de la tierra. Una ventaja de esta metodología es que se acerca a la transdisciplina porque combina el conocimiento de los administradores locales de la tierra expertos y científicos (Reed et al., 2011), pero no es exclusivo de la desertificación.

Otro proyecto destacable es The Land Degradation Assessment in Drylands (LADA, <http://dis-nrd.uniss.it/index.php? mod=view& section=db& table=indicators& view=lst>

), que incluye un gran número de métodos de evaluación aplicada y en colaboración con los administradores de tierras locales (Reed et al., 2011). Esta metodología es muy interesante, pero sorpresivamente no es citada en las publicaciones indizadas analizadas. Es posible que muchos informes técnicos no publicados, utilicen estos métodos ya que el combate a la desertificación se da mucho por proyectos aplicados los cuales, desafortunadamente, no derivan en publicaciones indizadas internacionalmente.

Para los climas tipo mediterráneo, DESERTLINKS (http://www.kcl.ac.uk/projects/desertlinks/indicator_system/index.htm) es un proyecto emblemático que plantea una serie de indicadores e índices para diferentes escalas de aplicación. Sin embargo, reconocemos que aún le falta un mayor desarrollo en la forma de acoplar la información biofísica y la socioeconómica.

Uno de los temas más recurrentes en la literatura mundial sobre desertificación es el monitoreo, el cual consiste en la recolección repetida y el almacenamiento de datos, que sirven para un propósito definido. Se trata de un procedimiento estructurado al fin de documentar los procesos dinámicos, por lo general por un largo período de tiempo (es decir, años, décadas) en lugar de hacer sólo un conjunto limitado de

observaciones o mediciones sobre un período de tiempo corto. Propuestas metodológicas para el monitoreo de la desertificación han sido las planteadas por Rubio (1998), Abraham (2006), Grainger (2009), Sommer et al., (2011) y Reed et al., (2011). La Tabla 4, muestra tres propuestas para la evaluación de la desertificación a través de indicadores.

Con respecto a la búsqueda de modelos y dentro de todos los documentos revisados destaca el trabajo de Sommer et al., (2011) quien menciona que los modelos son sistemas de indicadores anidados, (es decir, en los diferentes niveles de interés, donde cada uno es un subconjunto de uno más alto) y el diseño en cada escala aborda las necesidades de la decisión a esa escala, pero está vinculado a otras escalas de un tema u objetivo común.

Asimismo, el trabajo de Abraham (2003) explica que para los estudios de desertificación los indicadores tienen que estar integrados por distintas variables y datos. Puede ser simple o muy complejo, cuando se logran agrupar en índices. Un indicador aislado o una sumatoria de indicadores generalmente no es suficiente.

Debe tenderse a construir y aplicar series de indicadores con el objetivo de diseñar un sistema integrado de indicadores para generar Sistemas o Modelos de Evaluación de Desertificación de manera participativa. Sin embargo, para definir conjuntos de indicadores específicos para la desertificación, se tiene que coincidir con el ambiente existente propios de cada lugar y con los modelos conceptuales o marcos para describir los procesos de desertificación, ya que un conjunto de indicadores tiene que proporcionar una descripción adecuada de un fenómeno y debe de estar enmarcado en un modelo conceptual integral de ese fenómeno (Sommer op cit, 2011). Es decir, un modelo de desertificación de forma participativa no es universal en las escalas de información detalladas, ya que debe adecuarse a cada realidad, y no sólo por las especificidades de los sitios sino por la disponibilidad de la información.

Si bien es cierto que todos estos esfuerzos han ayudado a generar grandes avances en el monitoreo de la desertificación, éstos se han centrado más en el método de evaluación de la desertificación, es decir en los indicadores e índices que se deben de evaluar, pero no profundizan en las formas de integración de estos índices e

indicadores para generar estudios inter o transdisciplinarios, ni tampoco queda clara la inclusión de la sociedad en la toma de decisiones. Además, se ha trabajado para comunicar los indicadores a tomadores de decisiones, pero se carece de formas de comunicación de índices de desertificación en un lenguaje entendible para la sociedad interesada (afectada) en el tema.

La elección de indicadores para el monitoreo de la desertificación ha sido un tema fundamental en las investigaciones científicas sobre el tema (Rubio et al., 1998; Abraham et al., 2006; Grainger, 2009, Vogt et al., 2011 & Reed et al., 2011). Sin embargo el problema no es el diseño sino la aplicación de los esquemas de monitoreo de la desertificación. Es decir, la falta de seguimiento sistematizado de los estudios, proyectos o planes de prevención y/o combate a la desertificación.

Para que esto suceda, se dice que los interesados (afectados) deben apropiarse del conocimiento y ser ellos parte del proceso de gestión y seguimiento, para que esto ocurra se necesita pasar a un estado mucho más avanzado de integración del conocimiento como lo que plantea Seidl et al. (2013).

Las investigaciones interdisciplinarias tratan de dar soluciones a problemas complejos y deben mejorar la comunicación entre los afectados, la administración pública y el mundo académico. Para ello, se propone el siguiente esquema de pasos metodológicos participativos (Tabla 15):

Tabla 15: Propuesta de pasos metodológicos para la toma de decisiones (Adaptado de Schwilch et al. 2009)

Paso I	Definición de causas y problemas que llevan a la degradación de la tierra en el lugar Identificación del tipo de área Identificación y selección de indicadores de presión e impacto con la gente	Talleres
Paso II	Identificación de medidas de conservación ya existentes y nuevas estrategias para la conservación en la zona	Talleres
Paso III	Evaluar y documentar las estrategias existentes y potenciales de prevención y mitigación	Talleres y campo
Paso IV	Toma de decisiones acerca de las estrategias y medidas a seguir	Talleres
Paso V	Implementación y seguimiento de las medidas y estrategias	Talleres

Es importante reconocer que toda investigación sobre desertificación parte de la base que existe un problema que requiere una solución, ya sea de tipo preventivo, de control o remediativo que tiene que ser discutido y socializado con los usuarios de la tierra. Asimismo, se parte de que el problema es planteado por un sector de la sociedad que demanda las investigaciones o los planes y programas para la prevención o el combate a la desertificación. Además de los afectados y los expertos, estas peticiones de solución se hacen a través de las diferentes instituciones que tienen la responsabilidad ya sea a nivel local o nacional de la planeación ambiental para el desarrollo sustentable de los países o las regiones.

Es así como el flujo de información a través de la comunicación continua entre los usuarios de la tierra, la administración pública y el mundo académico es fundamental a la hora de implementar planes, programas y proyectos en desertificación (Figura 18).

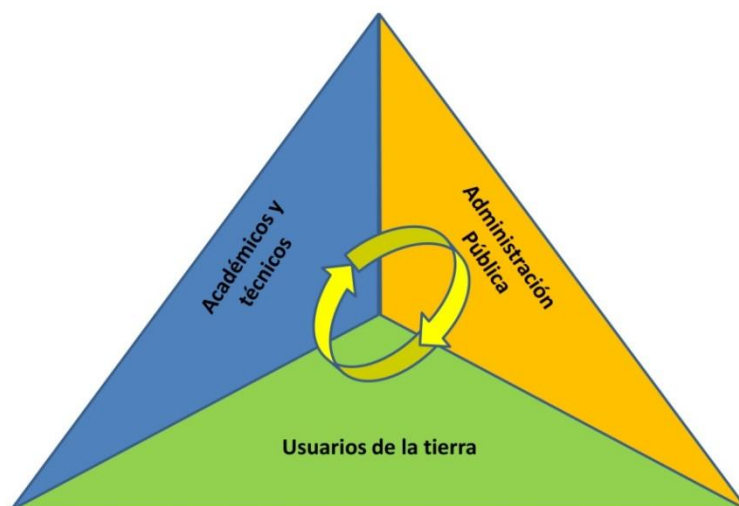


Figura 18: Esquema de flujos de información para la toma de decisiones.

Esta propuesta integra los trabajos realizados por Vogt et al., (2011), Reed et al., (2011), Koning et al., (2013) y Seild (2013) para realizar un planteamiento metodológico para el proceso de gestión interdisciplinaria de la desertificación, proceso que proponemos en la Figura 19.

Para comenzar, es importante definir el tipo de estudio y plantear las metas a las cuales se desea llegar con el estudio, proyecto, plan o programa. Para ello es importante priorizar el grado de avance del proceso de desertificación del sitio bajo estudio. Hay tres tipos de estudios: 1) aquellos desarrollados como parte de un plan de prevención en zonas no desertificadas, 2) aquellos en zonas que poseen síntomas de desertificación y 3) aquellos en zonas ya desertificadas. Esto se considera relevante, porque de ello va a depender la selección de los indicadores. Una vez establecidas las metas, la sociedad y el gobierno destina financiamiento que se traduce en recursos humanos, materiales y de gestión para llevar a cabo los objetivos que se han planteado. Posteriormente se define el perfil del equipo el cual incluye actores de las comunidades afectadas, los tomadores de decisiones y expertos. Esto es clave para que los productos de los trabajos sean interdisciplinarios.

El equipo interdisciplinario debe de establecer los vínculos entre todos los conocimientos incorporables y la traducción de los lenguajes disciplinarios. Asimismo, se deben definir metas colectivas. Es importante en esta primera etapa que las vías de comunicación entre el equipo que desarrolla el estudio sean sólidas y basados en la confianza y el compromiso mutuo.

Una vez establecido el objetivo, las metas alcanzables y los vínculos de comunicación, se comienza con la fase de identificación de los indicadores de desertificación, para lo cual se sugiere (Tabla 16):

- a) Si son estudios preventivos, se sugiere evaluar la sensibilidad o fragilidad del ecosistema identificando zonas propensas a sufrir desertificación (estudio focalizado en los indicadores de estado).
- b) Si son estudios de áreas que están sufriendo procesos de desertificación, se sugiere evaluar la sensibilidad o fragilidad del ecosistema y las causas de la desertificación (estudio focalizado en indicadores de estado, presión y fuerzas directrices)
- c) Si son áreas desertificadas, se sugiere evaluar los impactos de la desertificación, el o los indicadores de estado más significativos como es suelo y las formas de restauración y mitigación del problema (estudio focalizado en indicadores de estado e impacto).
- d) Todos los casos anteriores deben de contar con indicadores de respuesta al conjunto de medidas destinadas a prevenir, mitigar o restaurar zonas que son propensas, que están sufriendo o que ya se encuentran desertificadas.

Tabla 16: Ejemplos de tipos de indicadores, según tipo de estudio. Sólo en eareas desertificadas existen indicadores de impacto.

Tipo de estudio	Indicadores	Tipo de indicadores
Plan de prevención	Calidad de la vegetación	Estado
	Calidad del suelo	Estado
	Presencia de políticas ambientales	Estado
	Dinero destinado a proyectos ambientales	Respuesta
Áreas en proceso de desertificación	Aumento de la temperatura	Fuerzas directivas
	Número de cabezas de ganado por hectárea	Presión
	Disponibilidad de agua	Estado
	Agenda Local 21	Respuesta
Áreas desertificadas	Deforestación	Impacto
	Sobreexplotación de los acuíferos	Impacto
	Calidad del suelo	Estado
	Programa de recuperación de suelos degradados	Respuesta

Las respuestas dan origen a las acciones que genera un proceso de participación social o de política pública que conlleva a alcanzar las metas para el desarrollo social, económico y ambiental en un tiempo definido para contrarrestar o evitar los procesos de desertificación. Si el problema no se soluciona, la sociedad continúa con él proyecto por lo que se requiere revisar las metas, redefiniéndolas periódicamente, para continuar nuevamente el proceso. Si las metas fueron alcanzadas y el problema se ha resuelto, es necesario focalizarse en los planes de prevención.

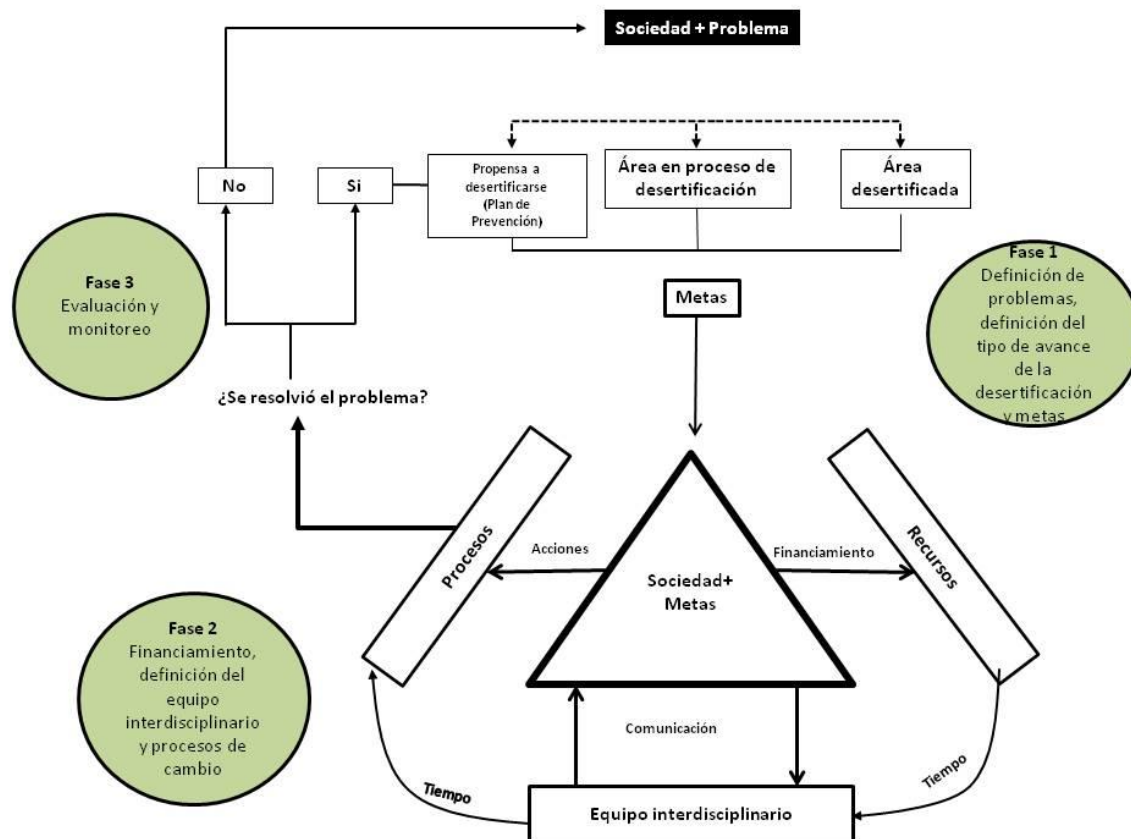


Figura 19: Diagrama sociedad, problemas y desertificación (SPD), las fases metodológicas conceptuales para alcanzar los objetivos de la gestión de la desertificación.

La gráfica muestra las fases para la gestión según el avance de la desertificación, por ejemplo, si estamos ante una localidad desertificada el problema de la sociedad es cómo recuperar un espacio degradado, para esto la meta será remediar los impactos de la desertificación (Fase 1).

Para lograr esta meta se pasa a la fase 2, en donde la sociedad destina financiamiento que se traduce en recursos (humanos y materiales). El equipo interdisciplinario comienza a interactuar con los actores locales en un proceso continuo de comunicación, en donde se definen los indicadores y con esto se llegan a acuerdos para la implementación de acciones. Las acciones anteriores conducen procesos de cambio para lograr las metas que la sociedad se ha propuesto en un tiempo determinado.

En la fase 3, la sociedad revisa los indicadores de respuesta y las metas, si el problema se ha solucionado, lo sugerido es realizar un plan de prevención, si el problema no se

ha solucionado volvemos al inicio de la gestión, donde tenemos nuevamente a la sociedad y el problema.

Las anteriores fases pueden ser resumidas en los siguientes pasos metodológicos para gestionar espacios propensos, en vías o desertificados:

Se parte de la base de que la evaluación tiene un paso inicial de pre-evaluación, más tres fases para el monitoreo y evaluación participativa (Figura 20).

Pre-evaluación: Vinculada a la recopilación de antecedentes. Esta fase debe de cumplir con los siguientes objetivos:

- Definir las causas y problemas que están llevando a la degradación de la tierra. En esta etapa es fundamental conocer el contexto, revisar los estudios disciplinarios previos y si éstos no existen hacer un taller previo con los usuarios de la tierra.
- Aplicar modelos de riesgo según tipo de áreas como sistemas de alerta temprana, probados y calibrados a nivel internacional (por clasificaciones climáticas, tipos de uso de suelo, tipo de área geográfica, erosión etc).
- Identificar el tipo de área (en proceso, no desertificada o desertificada).

Para efectos de esta tesis se profundiza solamente en este punto, probando un modelo en dos áreas de tipo mediterráneo.

Evaluación Participativa: En esta etapa se sociabiliza el modelo de riesgo y se discute. Esta fase debe de cumplir con los siguientes objetivos:

- Identificar las medidas de conservación existentes y nuevas estrategias para la conservación de la zona.
- Evaluar y documentar las estrategias existentes y potenciales de prevención y mitigación.
- Seleccionar los indicadores y nuevos índices con la gente, de esta manera se generan planes de manejo con indicadores “adaptados a cada realidad local”. En esta fase se debe de definir el tipo de análisis (multivariado, de multicriterio etc.), generando nuevas cartografías adaptadas a cada lugar.

Selección y aplicación de acciones: Se definen las medidas y estrategias a seguir. Esta fase debe de cumplir los siguientes objetivos:

- Evaluar y documentar estrategias existentes y potenciales de prevención y mitigación.
- Definir los indicadores de respuesta y cumplimiento de metas.
- Definir los organismos, instituciones y encargados de la supervisión de las acciones.

Supervisión: Esta fase debe de cumplir el siguiente objetivo:

- Inspeccionar el cumplimiento de las acciones.

Evaluación Participativa: El modelo para la gestión incluye al final una nueva evaluación participativa de las metas y el cumplimiento de acciones y medidas para solucionar los problemas de degradación o prevención en los diferentes territorios.

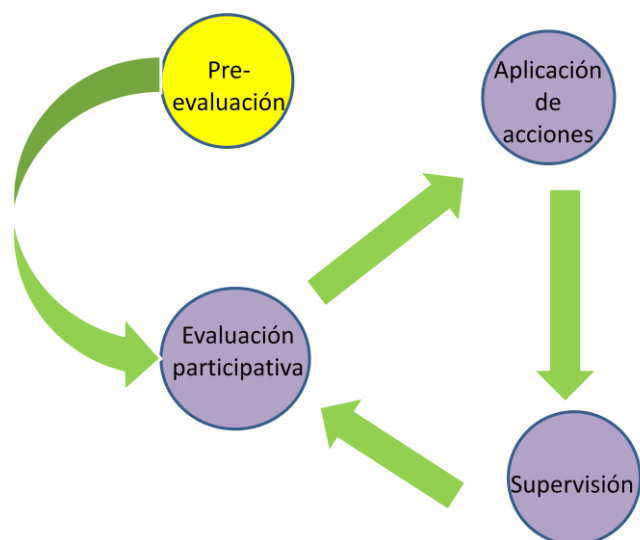


Figura 20: Pasos metodológicos para la gestión de la desertificación.

Para estudios de evaluación ambiental existe una diferenciación de tipologías de modelos entre los cuales Laniak et al. (2013) menciona los convencionales, integrados, para toma de decisiones y los participativos. La metodología general aquí presentada propone pasar de un tipo de pre evaluación utilizando un “Modelo de evaluación integrado” que proporciona información relevante en la fase 1, a otro tipo llamado “Modelo participativo” que es un término genérico que se utiliza para estrategias de modelado que dependen de las partes interesadas y de la participación en diversas formas, también conocido como modelo de grupo, construcción, modelación mediada, visión de planificación compartida, simulación participativa etc.

4. Conclusiones

Los estudios de casos aquí analizados se ubican principalmente en países emergentes, seguido por los países desarrollados, esto nos da una idea de cuáles son las regiones en el mundo que están aplicando y desarrollando metodologías de evaluación y monitoreo de la desertificación, también refleja las desigualdades regionales en el estudio de este proceso, ya que son escasos los artículos de estudios de casos en países de mínimo desarrollo.

Quienes publican acerca de evaluaciones de la desertificación son las universidades, quienes en sus metodologías en su mayoría no mencionan cómo sus trabajos se vinculan con la sociedad o cómo estos están ayudando a solucionar un problema local, regional y global.

La mayoría de las investigaciones carecen de una metodología que englobe todas las dimensiones espaciales, históricas, temporales y humanas implícitas en este proceso, por lo que urge trabajar en metodologías integrales, flexibles y adaptativas a nivel local, que permitan más que describir el estado de una variable, otorguen una aproximación al entendimiento de las relaciones entre las causas, la fragilidad del ecosistema e impactos que están conduciendo a procesos de desertificación. Lo anterior refleja que hasta el momento la mayoría de los trabajos **no son interdisciplinarios**, aunque existe una tendencia en los últimos años a trabajar en esta línea.

Por la variada gama de interpretaciones de la definición de desertificación se sugiere la necesidad de mayor rigurosidad en las definiciones climáticas en las metodologías y especificar mejor los tipos y subtipos climáticos en donde se desarrollan las investigaciones.

Los estudios de casos en desertificación utilizan en la mayoría: múltiples indicadores, múltiples variables, combinan aspectos biofísicos con socioeconómicos, son estudios que se realizan en gabinete con información documental preexistente, son realizados por universidades, pero los equipos de trabajo no son interdisciplinarios y en las metodologías no incluyen el contacto con el origen del problema que es la sociedad.

La necesidad de generar metodologías interdisciplinarias y obtener productos interdisciplinarios, presenta el desafío de buscar formas de integración de la información para responder a las preguntas que interesan desde el punto de vista del desarrollo sustentable en este tema, tanto para los componentes de la

conservación de los recursos naturales y diseño de usos alternativos, como de las formas tradicionales de explotación de los mismos.

En este sentido se esperan evaluaciones integrales capaces de incluir a la sociedad, a las comunidades locales para identificar las presiones particulares que existen en cada lugar y que afectan el ambiente, por lo que los equipos de trabajo tienen que tener la capacidad de identificar las respuestas para la mitigación, restauración y generar los planes de prevención. El esquema SPD capta los pasos para la toma de decisiones orientado a la gestión de la desertificación.

Los indicadores a utilizar siguen siendo un tema de discusión en los artículos metodológicos, se considera que esta es una herramienta importante para la evaluación y seguimiento, pero consideramos que si estos indicadores no forman parte de un proceso mayor para conseguir la sustentabilidad de los recursos naturales, se corre el riesgo de que los esfuerzos en materia de desertificación se quede una fase descriptiva, sin la gestión necesaria para lograr las metas que la sociedad requiere para su desarrollo.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Beca Conicyt del Gobierno de Chile y a la Beca Conacyt del Gobierno de México, a la Universidad Autónoma de Baja California y a la Doctora Asunción Romero Díaz de la Universidad de Murcia, España.

5. Referencias

- Abraham, E. (2003). "Desertificación: bases conceptuales y metodológicas para la planificación y gestión". Aportes a la toma de decisión. *Zonas Áridas*, Lima, Centro de Investigaciones de Zonas Áridas, Univ. Agraria La Molina, N° 7, 19; 68, ISSN-1013-445.
- Abraham, E., E. Montaña, et al. (2006). Desertificación e indicadores: Posibilidades de medición integrada de fenómenos complejos. Scripta Nova X.
- Ajai, A. S. Arya, et al. (2009). "Desertification/land degradation status mapping of India." *Current Science (00113891)* 97(10): 1478-1483.
- Avni, Y., N. Porat, et al. (2006). "Geomorphic changes leading to natural desertification versus anthropogenic land conservation in an arid environment, the Negev Highlands, Israel." *Geomorphology* 82(3-4): 177-200.

- Bakr, N., D. C. Weindorf, et al. (2012). "Multi-temporal assessment of land sensitivity to desertification in a fragile agro-ecosystem: Environmental indicators." *Ecological Indicators* 15(1): 271-280.
- Brandt, C. J. and J. B. Thornes (1996). *Mediterranean desertification and land use*, Wiley.
- Castellano, M. J. and T. J. Valone (2007). "Livestock, soil compaction and water infiltration rate: Evaluating a potential desertification recovery mechanism." *Journal of Arid Environments* 71(1): 97-108.
- Commission, E. (1999). *The Medalus project Mediterranean desertification and land use. Manual on key indicators of desertification and mapping environmentally sensitive areas to desertification*. M. K. C.Kosmas, N. Geeson. Luxembourg, European Communities.
- Costa, A. C. and A. Soares "Local spatiotemporal dynamics of a simple aridity index in a region susceptible to desertification." *Journal of Arid Environments* 87(0): 8-18.
- Danfeng, S., R. Dawson, et al. (2006). "Agricultural causes of desertification risk in Minqin, China." *Journal of Environmental Management* 79(4): 348-356.
- Dawelbait, M. and F. Morari (2012). "Monitoring desertification in a Savannah region in Sudan using Landsat images and spectral mixture analysis." *Journal of Arid Environments* 80(0): 45-55.
- De Soyza, A. G., W. G. Whitford, et al. (1998). "Early warning indicators of desertification: examples of tests in the Chihuahuan Desert." *Journal of Arid Environments* 39(2): 101-112.
- Ding, D., H. Bao, et al. (1998). "Progress in the study of desertification in China." *Progress in Physical Geography* 22(4): 551-557.
- Elhadi, E. M., N. Zomrawi, et al. "Landscape Change and Sandy Desertification Monitoring and Assessment." *American Journal of Environmental Sciences* 5(5): 633-638.
- Fantechi, R. (1995). *Desertification in a European Context: Physical and Socio-economic Aspects*, European Commission.
- Funtowicz S., y B. D. Marchi.2000. *Ciencia posnormal, complejidad reflexiva y sustentabilidad*.Pp 54-84. En E. Leff (Coord.) . *La complejidad ambiental*. Siglo XXI editores, México, 314 pp

- Gaur, M. and H. Gaur (2004). "Combating Desertification: Building on Traditional Knowledge Systems of the Thar Desert Communities." Environmental Monitoring And Assessment 99(1-3): 89-103.
- Geeson, N. A., C. J. Brandt, et al. (2003). Mediterranean Desertification: A Mosaic of Processes and Responses, Wiley.
- Grainger, A., M. Stafford Smith, et al. (2000). "Desertification, and climate change: the case for greater convergence." *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 5(4): 361-377.
- Grainger, A. (2009). Developing a baseline survey for monitoring biophysical and socio-economic trends in desertification, land degradation and drought. Consultancy report. UNCCD.
- Helldén, U. (2008). "A coupled human–environment model for desertification simulation and impact studies." *Global and Planetary Change* 64(3–4): 158-168.
- Huang, Y., N.-a. Wang, et al. (2009). "Historical desertification of the Mu Us Desert, Northern China: A multidisciplinary study." *Geomorphology* 110(3–4): 108-117.
- Iosifides, T. and T. Politidis (2005). "Socio-economic dynamics, local development and desertification in western Lesvos, Greece." *Local Environment* 10(5): 487-499.
- Kobayashi, T., S. Nakayama, et al. (2005). "Socio-ecological analysis of desertification in the Mu-Us Sandy Land with satellite remote sensing." *Landscape and Ecological Engineering* 1(1): 17-24.
- König, B., K. Diehl, et al. (2013). "A framework for structuring interdisciplinary research management." Research Policy 42(1): 261-272.
- Kosmas, C., M. J. Kirkby, et al. (1999). The Medalus Project: Mediterranean Desertification and Land Use : Manual on Key Indicators of Desertification and Mapping Environmentally Sensitive Areas to Desertification, Directorate-General Science, Research and Development.
- Kundu, A. and D. Dutta (2011). "Monitoring desertification risk through climate change and human interference using Remote sensing and GIS techniques." *International Journal of Geomatics & Geosciences* 2(1): 21-33.
- Ladisa, G., M. Todorovic, et al. (2012). "A GIS-based approach for desertification risk assessment in Apulia region, SE Italy." *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C* 49(0): 103-113.

- Le Houérou, H. N. (1996). "Climate change, drought and desertification." *Journal of Arid Environments* 34(2): 133-185.
- Maestre, F. T., M. A. Bowker, et al. (2009). "Shrub encroachment can reverse desertification in semi-arid Mediterranean grasslands." *Ecology Letters* 12(9): 930-941.
- Mairota, P. and J. B. Thornes (1999). *Atlas of Mediterranean Environments in Europe: The Desertification Context*, John Wiley & Sons Canada, Limited.
- Meyer, B. C., V. Schreiner, et al. (2008). "Indicators of desertification in the Kulunda Steppe in the south of Western Siberia." *Archives of Agronomy and Soil Science* 54(6): 585-603.
- Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (EEM) (2005). *Ecosistemas y Bienestar Humano. Síntesis sobre desertificación*. Washington, DC., World Resources Institute: 26.
- Landry, R., M. Lamari, et al. (2003). "The Extent and Determinants of the Utilization of University Research in Government Agencies." *Public Administration Review* 63(2): 192-205
- Morales, C., S. Parada, et al. (2005). *Pobreza, Desertificación y Degradación de los Recursos Naturales*, Naciones Unidas, Comisión Econ mica para América Latina y el Caribe.
- Morse W., M. Nielsen-Pincus et al. (2007). Bridges and barriers to developing and conducting interdisciplinary graduate-student team research. *Ecology and Society* 12(2): 8.
- Mouat, D., J. Lancaster, et al. (1997). "Desertification Evaluated Using an Integrated Environmental Assessment Model." *Environmental Monitoring And Assessment* 48(2): 139-156.
- Musa, A. A., E. N. Gajere, et al. (2012). Remote sensing and GIS based predictive model for desertification early warning in north eastern Nigeria. *NED University Journal of Research* 9(1): 1-14.
- Nyssen, J., M. Haile, et al. (2009). "Desertification? Northern Ethiopia re-photographed after 140 years." *Science of The Total Environment* 407(8): 2749-2755.
- Rasmy, M., A. Gad, et al. (2010). "A dynamic simulation model of desertification in Egypt." *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science* 13(2): 101-111.

- Reed, M. S., M. Buenemann, et al. (2011). "Cross-scale monitoring and assessment of land degradation and sustainable land management: A methodological framework for knowledge management." *Land Degradation & Development* 22(2): 261-271.
- Reynolds, J. F., A. Grainger, et al. (2011). "Scientific concepts for an integrated analysis of desertification." *Land Degradation & Development* 22(2): 166-183.
- Reynolds JF, Stafford Smith DM (2002) Do humans cause deserts? In: *Global Desertification: Do Humans Cause Deserts?* (eds, Reynolds JF & Stafford Smith DM) Dahlem Workshop Report 88, Dahlem University Press, Berlin, pp. 1-21.
- Reynolds, J. F., F. T. Maestre, et al. (2005). "Aspectos socioeconómicos y biofísicos de la desertificación." *Ecosistemas* 3: 19.
- Reynolds, J. F., D. M. S. Smith, et al. (2007). "Global Desertification: Building a Science for Dryland Development." *Science* 316(5826): 847-851.
- Rubio, J. L. and E. Bochet (1998). "Desertification indicators as diagnosis criteria for desertification risk assessment in Europe." *Journal of Arid Environments* 39(2): 113-120.
- Salinas, C. and J. Mendieta (2012). "Numerical model to assess the impact of the strategies to mitigate desertification." *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*: 1-16.
- Salvati, L. and S. Bajocco 2011. "Land sensitivity to desertification across Italy: Past, present, and future." *Applied Geography* 31(1): 223-231.
- Salvati, L. and M. Zitti (2009). "Convergence or divergence in desertification risk? Scale-based assessment and policy implications in a Mediterranean country." *Journal of Environmental Planning and Management* 52(7): 957-971.
- Salvati, L., M. Zitti, et al. (2009). "Developing a Synthetic Index of Land Vulnerability to Drought and Desertification." *Geographical Research* 47(3): 280-291.
- Sanders, D. W. (1986). "Desertification processes and impact in rainfed agricultural regions." *Climatic Change* 9(1-2): 33-42.
- Santini, M., G. Caccamo, et al. (2010). "A multi-component GIS framework for desertification risk assessment by an integrated index." *Applied Geography* 30(3): 394-415.
- Seidl, R., F. Brand, et al. (2013). "Science with Society in the Anthropocene." *AMBIO* 42(1): 5-12.

- Sharma, K. D. (1998). "The hydrological indicators of desertification." *Journal of Arid Environments* 39(2): 121-132.
- Sivakumar, M. V. K. (2007). "Interactions between climate and desertification." *Agricultural and Forest Meteorology* 142(2-4): 143-155.
- Sommer, S., C. Zucca, et al. (2011). "Application of indicator systems for monitoring and assessment of desertification from national to global scales." *Land Degradation & Development* 22(2): 184-197.
- Souza, D. and M. Oyama (2011). "Climatic consequences of gradual desertification in the semi-arid area of Northeast Brazil." *Theoretical and Applied Climatology* 103(3-4): 345-357.
- Stringer, L. C., J. C. Dyer, et al. (2009). "Adaptations to climate change, drought and desertification: local insights to enhance policy in southern Africa." *Environmental Science & Policy* 12(7): 748-765.
- Stringer, L. C. (2008). "Reviewing the International Year of Deserts and Desertification 2006: What contribution towards combating global desertification and implementing the United Nations Convention to Combat Desertification?" *Journal of Arid Environments* 72(11): 2065-2074.
- Sun, D., R. Dawson, et al. (2005). "Modeling Desertification Change in Minqin County, China." *Environmental Monitoring And Assessment* 108(1-3): 169-188.
- Sun, D., R. Dawson, et al. (2007). "A landscape connectivity index for assessing desertification: a case study of Minqin County, China." *Landscape Ecology* 22(4): 531-543.
- Symeonakis, E. and N. Drake (2004). "Monitoring desertification and land degradation over sub-Saharan Africa." *International Journal of Remote Sensing* 25(3): 573-592.
- United Nations, E. P. (1992). Report of governing council on the work of its thirds special session. New York, United Nation: 42.
- United Nations Convention to combat desertification (UNCCD), (2011). *Desertification: A Visual Synthesis*: 50.
- Verstraete, M. M., A. B. Brink, et al. (2008). "Climate change and desertification: Where do we stand, where should we go?" *Global and Planetary Change* 64(3-4): 105-110.

- Vogt, J. V., U. Safriel, et al. (2011). "Monitoring and assessment of land degradation and desertification: Towards new conceptual and integrated approaches." *Land Degradation & Development* 22(2): 150-165.
- Wu, X., H. Liu, et al. (2011). "Human driving forces: Analysis of rocky desertification in karst region in Guanling County, Guizhou Province." *Chinese Geographical Science* 21(5): 600-608.
- Xu, D. Y., X. W. Kang, et al. (2010). "Multi-scale quantitative assessment of the relative roles of climate change and human activities in desertification – A case study of the Ordos Plateau, China." *Journal of Arid Environments* 74(4): 498-507.
- Zhang, Y., Z. Chen, et al. (2008). "Land desertification monitoring and assessment in Yulin of Northwest China using remote sensing and geographic information systems (GIS)." *Environmental Monitoring And Assessment* 147(1-3): 327-337.
- Zucca, C., R. D. Peruta, et al. (2012). "Towards a World Desertification Atlas. Relating and selecting indicators and data sets to represent complex issues." *Ecological Indicators* 15(1): 157-170.

3.1.2 Una revisión de indicadores de desertificación en estudios de casos en el mundo.

Resumen

La desertificación es centro de interés de prácticamente todas las naciones en el mundo. En este interés por conocer los procesos que llevan a la degradación de la tierra en zonas secas se han propuesto numerosos indicadores que son discutidos por científicos y gestores a nivel global. En este documento se han analizado los indicadores que han sido utilizados en 134 estudios de casos a nivel mundial y se realiza una clasificación de los distintos tipos y subtipos. Como resultado de este estudio se proponen cinco variables mínimas a utilizar y los once indicadores más frecuentemente utilizados, así como también se plantea una propuesta metodológica para la selección de indicadores. Como conclusión principal se indica que no es necesario continuar generando nuevos indicadores del estado y de las presiones que dan origen a la desertificación, sino que hay que trabajar en los indicadores de respuesta y en la construcción de índices para cada región o zona geográfica en particular.

Palabras claves: desertificación, degradación de tierras, indicadores, temas de investigación.

1. Introducción

La desertificación tiene lugar en las tierras secas (áreas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, con exclusión de los desiertos). Cuando tiene lugar la degradación de la tierra en las zonas secas, se suelen crear condiciones similares a las de los desiertos. La desertificación es la degradación de la tierra a causa de varios factores, incluyendo variaciones climáticas y actividades humanas. La degradación de las tierras ocurre en cualquier lugar, pero se define como desertificación cuando se da en las tierras secas (UNCCD, 2011).

La población total de las tierras secas del mundo es de 2.000 millones aproximadamente, casi una de cada tres personas habita en algún tipo de zona árida (UNCCD, 2011). De ahí, la necesidad de investigar y evaluar como la desertificación está afectando a estas zonas. Hay numerosos esfuerzos dirigidos a la evaluación, monitoreo e implementación de medidas conducentes a prevenir, mitigar y restaurar

zonas degradadas. Son de destacar un elevado número de proyectos de investigación, tanto de carácter local, nacional como internacional desarrollados sobre Desertificación (Baartman et al., 2007).

Los indicadores son medidas o estadísticos que se refieren a una condición o cambio de estado de un factor o recurso natural. Proporcionan información simple y sintética sobre el estado y tendencias de procesos ambientales complejos, con un significado que trasciende a aquél directamente asociado con la medida de un parámetro individual (OCDE, 1993; Acton and Padbury, 1993; Doran and Parkin, 1996).

Los indicadores de desertificación pueden demostrar el grado de avance del proceso y alertar sobre la necesidad de actuar para prevenir, mitigar o rehabilitar una situación de suelos irreversiblemente infértiles (Kosmas et al., 2002). Un indicador o conjunto de indicadores aglomerados en un índice, son una herramienta para: (i) identificar áreas frágiles o propensas a sufrir degradación; (ii) identificar las áreas donde la desertificación ya es un problema; (iii) estimar su gravedad; o (iv) comprender mejor los procesos asociados con la desertificación. Como los indicadores pueden ser redundantes, es muy importante experimentar con ellos, para seleccionar uno o un conjunto mínimo de indicadores que proporcionen la máxima información sobre cambios, tendencias y calidad.

Según varios autores (OCDE, 1993; Rubio and Bochet, 1998), para que los indicadores sean científicamente válidos y útiles a los tomadores de decisiones deben ser:

- Medibles objetiva y científicamente,
- Preferentemente cuantitativos,
- Fáciles y de efectivo coste de medir y/o recolectar información,
- Adaptados a la problemática y condiciones particulares de la situación en que se aplican,
- Sensibles a los cambios ambientales propios de la situación,
- Simples en concepto y accesibles para evaluación, tanto por especialistas como por gestores de los recursos naturales,
- Capaces de permitir la formulación y aplicación de directrices para la adecuada gestión de los recursos naturales.

Los indicadores también se clasifican, según la OECD (1993) en: (1) presión (P), (2) estado (S), y respuesta (R).

- (7) Los indicadores de presión son factores indirectos que permiten analizar las interacciones entre las presiones ejercidas por las actividades humanas sobre los recursos naturales.
- (8) Los indicadores de estado permiten observar cambios en la calidad de los recursos o condiciones del sistema (incluyendo factores bio-físicos y socio-económicos).
- (9) Los indicadores de respuesta son las acciones o intervenciones que se toman en respuesta a esos cambios, en el intento de mitigar o eliminar las presiones y de recuperar los recursos naturales que están siendo degradados.

La Agencia Europea para el Medio Ambiente (EEA, 2003) usa una extensión del modelo anterior llamado Driving Forces-Pressures-State-Impact-Responses (DPSIR), el cual plantea que el desarrollo social y económico ejerce presión en el medio ambiente y como consecuencia, el estado del medio ambiente cambia. Este modelo describe una situación dinámica con atención a los feedbacks en el sistema.

Han sido numerosos los organismos y autores que han identificado y citado una serie de indicadores en relación con la degradación del suelo, la vegetación y el agua, aspectos climáticos, geomorfológicos y socio-económicos en zonas secas. Entre ellos merecen citarse los siguientes trabajos: UNEP (1992), Fantechi et al. (1995), Brandt and Thornes (1996), Filiberto et al. (1996), Rubio and Bochet (1998), López Bermúdez and Romero Díaz (1998), López Bermúdez (1999), López Bermúdez and González Barbera (2000), Imeson y Cammeraat (2000). Asimismo, destacan las propuestas metodológicas más recientes de Abraham et al. (2006), Reynolds et al. (2007), Reed et al. (2010) and Vogt et al. (2011).

Hasta tal punto los indicadores de desertificación se han mostrado importantes que recientemente la Secretaría de la Convención (UNCCD), con asistencia financiera de la Comisión Europea, ha elaborado un libro blanco (Barron, 2011), que contiene la revisión científica, aprobada provisionalmente por la Convención, de un conjunto de indicadores de impacto para medir la implementación de los tres objetivos de su Plan Estratégico a 10 años: 1) mejorar las condiciones de vida de las poblaciones afectadas; 2) mejorar las condiciones de los ecosistemas afectados; y 3) generar beneficios mundiales, mediante la aplicación efectiva de la Convención.

Como uno de los objetivos estratégicos en la COP 9, fueron aceptados provisionalmente un conjunto de once indicadores de impacto (decisión 17/COP.9), los cuales están siendo objeto de un proceso iterativo, participativo y formativo de perfeccionamiento, que incluye pruebas a través de ejercicios piloto a nivel nacional. Por decisión de la COP, en su décimo período de sesiones (COP10), el proceso de revisión se está realizando por un Grupo Consultivo Especial de Expertos Técnicos (AGTE).

Los once indicadores de impacto seleccionados por la COP 9 son los siguientes:

- 1) Disponibilidad de agua per cápita en áreas afectadas.
- 2) Cambio en el uso del suelo.
- 3) Proporción de la población en las zonas afectadas que viven por encima de la línea de pobreza
- 4) Desnutrición infantil y / o consumo de alimentos / ingesta de calorías per cápita en las zonas afectadas.
- 5) Índice de Desarrollo Humano, definido por el PNUD.
- 6) Nivel de degradación de la tierra (incluyendo salinización y erosión por el agua y el viento, etc.).
- 7) Biodiversidad vegetal y animal.
- 8) Índice de aridez.
- 9) Estado de la cubierta del suelo.
- 10) Reservas de carbono por encima y por debajo del suelo
- 11) Tierras por debajo de la sostenibilidad

En la actualidad, se dispone de una considerable cantidad de información relacionada con la desertificación como son bases de datos, metodologías, modelos de evaluación e informes técnicos de programas de recuperación de suelos degradados. Todas las experiencias han contribuido a profundizar en la comprensión de las causas físicas y humanas, y en los efectos que la desertificación tiene a diferentes escalas. Sin embargo, no se encontró un estudio que evaluara tanta información y seleccionara los indicadores más importantes para medir la desertificación. Por ello, se consideró oportuno realizar un estudio de caracterización y análisis de indicadores utilizados en el mundo. El objetivo de este estudio es conocer el estado del arte de las evaluaciones

en desertificación con indicadores y proponer un set de indicadores mínimos que puedan ser aplicados, especialmente por los gestores de zonas áridas, para identificar el estado de degradación de sus tierras.

2. Metodología

Se realizó una búsqueda bibliográfica en las bases de datos de Springer, Elsevier, Ebsco, Emerald, Wiley y Annual Reviews (con fecha de publicación hasta marzo del año 2013), sobre artículos con tuvieran la palabra “desertification” en el título. Se encontraron 275 artículos, de los cuales 134 eran estudios de caso en diferentes lugares del mundo.

Fue analizada la información y características que se muestran en la Tabla 17, las que no contenían esta información en su metodología no se analizaron.

Se considera indicador la representación cuantitativa que sirve para medir el cambio de una o varias variables, comparadas con otras. Toda variable necesita describirse (construcción colectiva de su significado), para que pueda ser agregada en indicadores, y de esta forma ser comparada con otras variables o conjunto de ellas (Secretaría Desarrollo Económico, 2007).

Se hizo una primera clasificación de los indicadores según tipo: biofísicos o socioeconómicos y aquellos que eran una integración de ambos, para identificar cuál de estos tipos de indicadores eran los más utilizados en los casos de estudio. La segunda clasificación se hizo agrupándolos por variables (clima, vegetación, suelos, etc.) con el objetivo de tener una visión de cuáles son las variables más utilizadas.

Posteriormente, según las frecuencias con que aparecen se llevaron al programa SPSS 15.0 para Windows para realizar un análisis de correlación entre variables e indicadores más frecuentemente utilizados. En este documento solamente se ha trabajado sobre la base de indicadores, no de índices.

Tabla 17. Clasificación de la literatura encontrada para revisar las investigaciones sobre desertificación en el Mundo.

Clasificación de las características de los estudios de casos	
Distribución geográfica	País y Continente
Clima	Tipo de clima
Escalas	Escalas en los que fueron aplicados los indicadores.
Nombre de la revista	Frecuencia con que se publica en esa revista.
Tipo de investigación	Tipo de indicadores (biofísico o socioeconómico), clasificación de los indicadores según variable.

3. Resultados

3.1. Caracterización de las publicaciones

Los artículos seleccionados se publicaron entre 1982 y 2012, concentrándose la mitad de las publicaciones (51.4%) en los últimos cinco años. Este aumento reciente en el número de publicaciones, pone de manifiesto la preocupación actual por las investigaciones en desertificación y la necesidad de buscar indicadores que ayuden a la identificación de los problemas o la puesta en marcha de acciones para minimizarlos.

Con respecto a la distribución geográfica, las publicaciones tratan de casos distribuidos de manera heterogénea en todos los continentes, sin embargo China es el país que concentra la tercer parte (31%) del total de los artículos, de esta forma Asia es el continente con más publicaciones. Por ejemplo, el 86% de las publicaciones asiáticas fueron publicadas después del 2005. El hecho de que China sea el país con más publicaciones puede explicarse por la extensión de las zonas secas del país, los problemas de desertificación que presenta y el elevado número de investigadores que recientemente publican en revistas internacionales en inglés. A mucha distancia de China en número de publicaciones está Italia (5.9%), España, Irán y Sudán (5%).

El 38% de las investigaciones se desarrollan en climas áridos y el 20% en semiáridos. Llama la atención el haber encontrado estudios de casos en climas de monzón y húmedos. Parece que hay una confusión, ya que por definición la desertificación solo

se refiere cuando los procesos de degradación se dan en zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas (Figura 22).

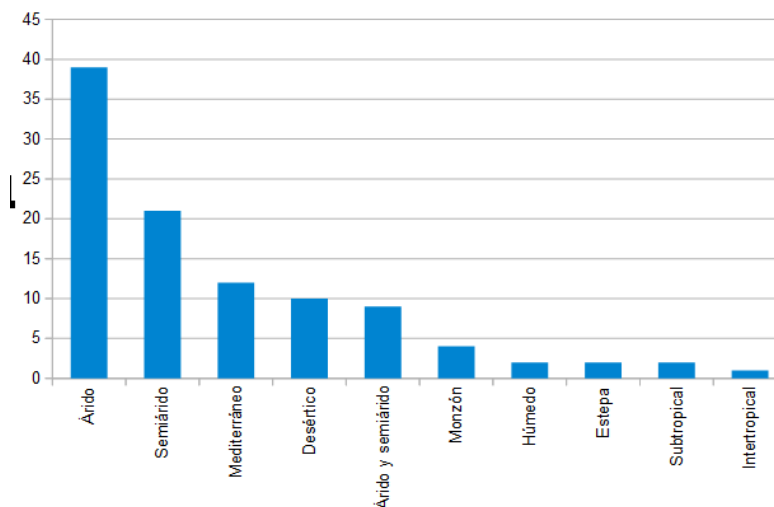


Figura 21: Número de publicaciones y climas.

Las investigaciones son principalmente a escala local (46.3%), seguidas de estudios regionales (42.5%) y seguidos por los estudios a nivel global (11.2%).

Los estudios sobre desertificación se han publicado en 70 revistas y las principales son (Figura 23): Journal of arid environment (1), Environmental Monitoring and Assessment (2) Environmental Geology (3), Ecological Indicators (4), Applied Geography (5), Global and Planetary Change (6), Natural Hazard (7), A Security Issue (8), Geomorphology (9), Journal of Applied Ecology (10) and Land Degradation and Development (11). Otras revistas en las que se ha publicado un número menor de trabajos son: Catena, Biogeosciences, Geojournal, Global Environmental Changes, Journal of Geographical Sciences, Journal of Environmental Management, Local environment o Mitigation and Adaptation Strategies for Global Changes. Los estudios de casos realizados en China, que es el país con un mayor número de estudios, fueron principalmente publicados en la revista Environmental Geology.

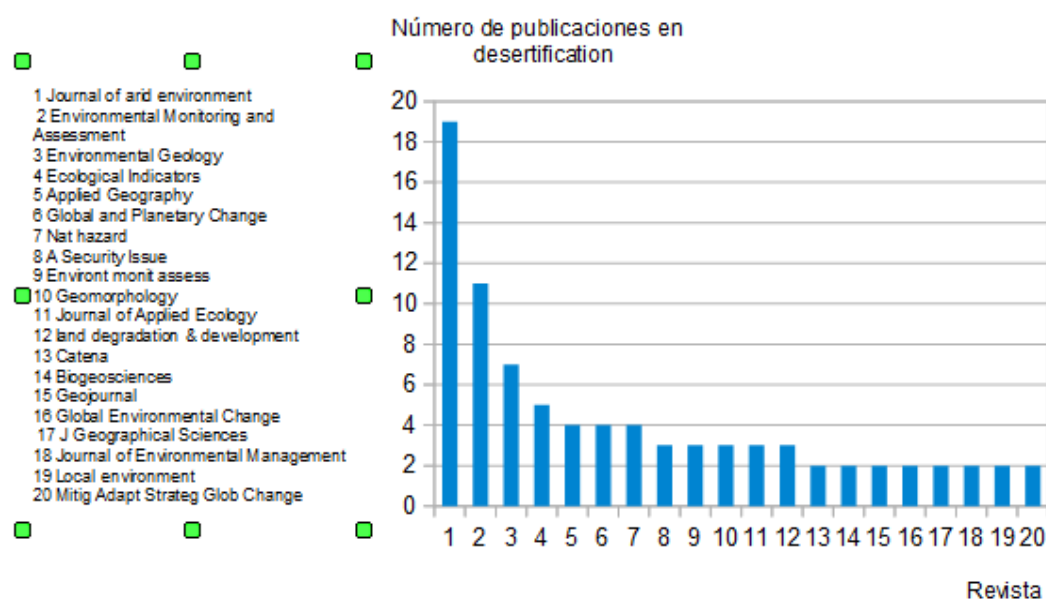


Figura 22: Revistas en donde se han publicado los estudios de casos.

3.2. Tipos de indicadores

Se identificaron 129 indicadores de desertificación agrupados en dos tipos: biofísicos y socioeconómicos. En la Figura 24 los hemos agrupado según tipos y variables. Los resultados indican que la mayor parte de los estudios acoplan datos biofísicos y socioeconómicos, seguido de los estudios que solo contemplan datos biofísicos y en último lugar los que solo evalúan aspectos socioeconómicos de la desertificación.

Los indicadores más frecuentemente utilizados son los relacionados con la variable vegetación (50% de los casos de estudio lo utilizan), seguido del suelo y los indicadores económicos. El clima, aunque es por definición una de las causas de la desertificación, no está entre las tres variables más frecuentemente estudiadas, esto se puede deber a la carencia de estaciones meteorológicas en las áreas de estudio.

Un aspecto que llama la atención es la escasez en la utilización de indicadores hidrológicos, más aún, el uso de indicadores de hidrología superficial es escaso, mientras que los indicadores de hidrología subterránea son más utilizados. La presencia de indicadores políticos nos indica la connotación gubernamental de la desertificación y las repercusiones de estos procesos a nivel de toma de decisiones y de gestión de los gobiernos.

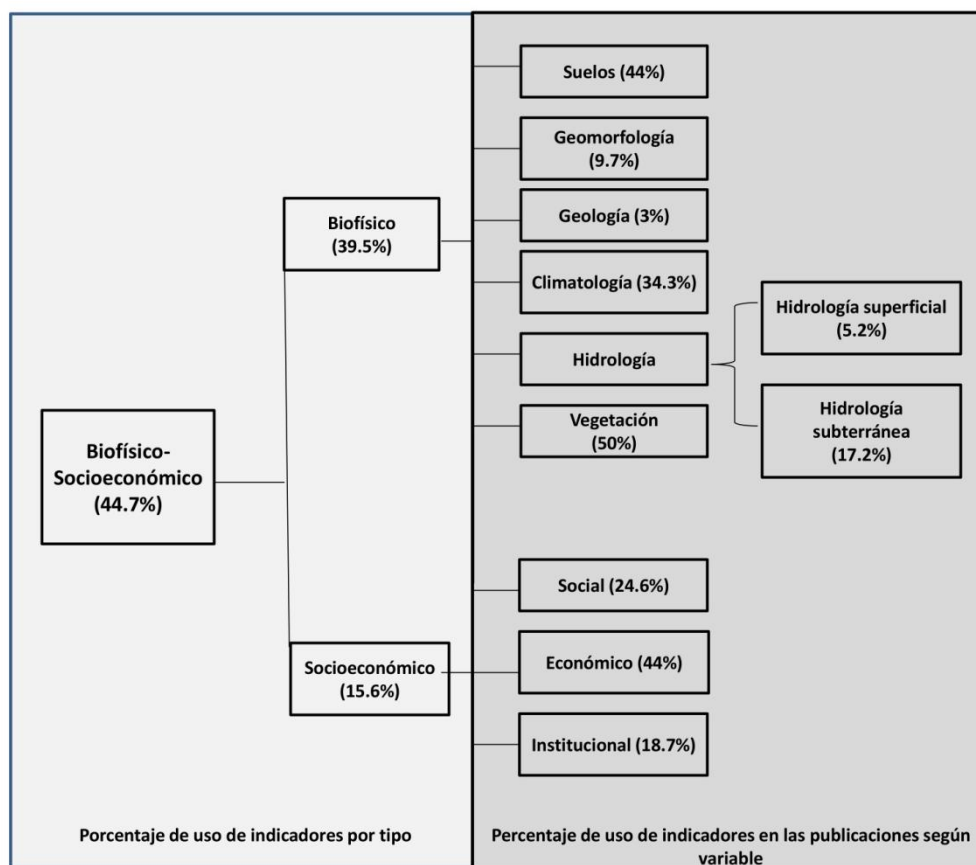


Figura 23: Porcentaje de uso de indicadores en las publicaciones por tipo y variables.

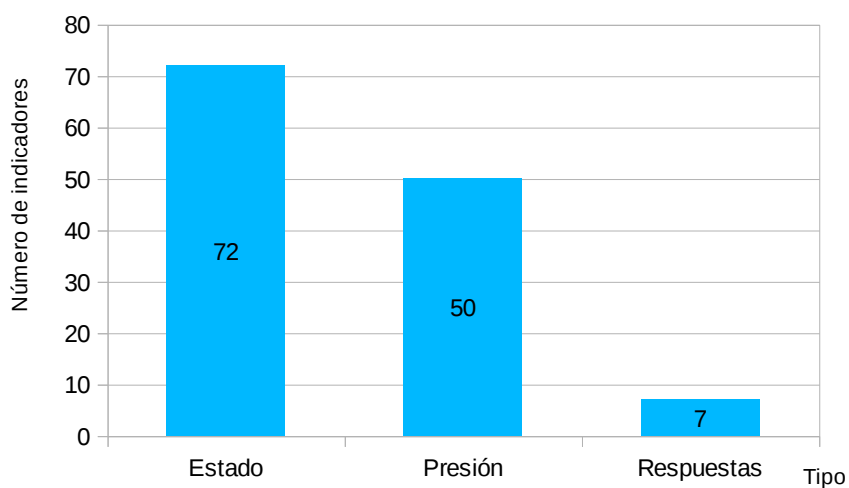


Figura 24: Número de indicadores y tipos de acuerdo al modelo PER.

3.3. Indicadores Biofísicos

Los resultados de esta revisión mostraron que 67 de los 134 casos de estudios utilizan la vegetación para evaluar procesos de desertificación (Tabla 18), resumidos en 27 indicadores. Los cinco más utilizados son: ***superficie de cobertura vegetal, tipo de vegetación, resistencia de la vegetación a la sequía, superficie con riesgo a incendios, Protección a la erosión por la vegetación***. En este contexto, que la superficie de cobertura vegetal sea el más usado, se entiende porque es un indicador relativamente fácil de obtener, porque puede ser analizado a través de imágenes de satélite (ahora disponibles en Internet) y fotografías aéreas.

El suelo, es el que da soporte a la vegetación y a las actividades humanas, por ello es uno de los factores más analizados en los estudios de desertificación, así lo demuestran los resultados de esta revisión (44%). En este contexto, el indicador más utilizado es la ***clase textural*** como indicador de desertificación, así como también ***contenido de materia orgánica, presencia de erosión, pendiente de las laderas y tipos de suelos***.

La geomorfología es utilizada en un total de once trabajos de los 134 revisados, y el indicador más frecuentemente utilizado es ***formas del relieve***. De esta manera distintas “landforms” tienen mayor o menor propensión a la desertificación; en tanto que en geología, solo dos estudios incluyen esta variable y los indicadores que usan son: ***existencia de actividad geológica y tipo de formaciones geológicas***, por lo que la variable geológica es muy poco utilizada en las evaluaciones de la desertificación.

Las aguas superficiales y subterráneas son primordiales para mantener el equilibrio en los ecosistemas, sobre todo en las zonas áridas, donde es un recurso escaso. A pesar de la importancia de este tipo de indicadores para las zonas áridas, solo 15 casos de estudio utilizan indicadores de aguas superficiales y 21 casos utilizan indicadores de aguas subterráneas, con un total de 18 indicadores (Tabla 18).

Se encontraron 12 indicadores de aguas subterráneas y manejo, siendo los más frecuentemente usados: ***Nivel de la capa freática, química del agua y sobreexplotación del acuífero***. Estos indicadores básicamente están orientados a conocer las presiones que se están ejerciendo sobre este recurso.

En zonas áridas la hidrología superficial se caracteriza por su variabilidad, de acuerdo con el régimen de las precipitaciones, por lo que muchos de los cursos de agua carecen de flujo superficial permanente, en gran parte del año. Por ello, pensamos

que esto se relaciona con los escasos indicadores encontrados, ya que éstos se reducen a seis y los más frecuentemente usados son: ***cambios en la red de drenaje y carga de sedimentos***. Estos indicadores están orientados a identificar los procesos y presiones sobre el ecosistema, ya que se relacionan con procesos de erosión y sedimentación principalmente.

El clima es una de las causas de procesos de desertificación a nivel micro, meso y macro escala. Se hallaron once indicadores climáticos utilizados en las evaluaciones de desertificación en los casos de estudio. Los más usados son las ***precipitaciones y el tipo de clima***, por ser éstos indicadores los accesibles para la mayoría de los investigadores.

Tabla 18: Indicadores biofísicos encontrados en los estudios de casos.

Vegetación	%	Suelos	
Superficie de cobertura vegetal	23.9	Clase textural	12.7
Tipo de vegetación	13.4	Contenido de materia orgánica	11.2
Superficie con riesgo a incendios	6.7	Presencia de erosión	9.7
Protección a la erosión por la vegetación	6.7	Inclinación de la pendiente	9.0
Resistencia de la vegetación a la sequía	6.7	Tipo de suelos	9.0
Disminución de la productividad primaria	3.0	Presencia de suelos salinizados	7.5
Decrecimiento en el número de especies	2.2	Presencia de erosión hídrica	7.5
Decrecimiento en la biomasa	2.2	Tipo de material parental	6.7
Deforestación	2.2	Presencia de erosión eólica	6.7
Modificación en la composición de especies	1.5	Contenido de agua en el suelo	5.2
		Presencia de diversos tamaños de fragmento de roca	5.2
Degradación de la vegetación	1.5	en la superficie del suelo	
Degradación de la biodiversidad	1.5	Profundidad de drenaje	5.2
NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)	1.5	Superficie con costras	3.7
Calidad vegetal	0.7	Profundidad del suelo	3.7
Reducción de matorral	0.7	Degradación suelo	3.0
Disminución del banco de semillas	0.7	Capacidad de infiltración de suelo	3.0
Introducción de malezas	0.7	Superficie con cobertura de piedras y arenas	1.5
Distribución de especies	0.7	Densidad del suelo	1.5
Superficie de bosques	0.7	Resistencia a la erosión del suelo	0.7
Diversidad biológica	0.7	Sustancias químicas en el suelo	0.7
Tipo de habitat	0.7	Fertilidad del suelo	0.7
Distribución de los parches de vegetación	0.7	Aumento de la temperatura del suelo	0.7
Organización de la vegetación	0.7	Hidrología Superficial	
Tipo de comunidades de plantas	0.7	Cambios en la red de drenaje	5.2
Superficie de matorral no aprovechado por pastoreo	0.7	Aumento en la carga de sedimentos	1.5
Composición y estructura	0.7	Presencia de embalses	0.7
Riqueza y composición	0.7	Volumen de los cuerpos de aguas	0.7
Hidrología subterránea		Aumento en la mineralización y salinización del agua	0.7
Nivel de la capa freática	3.0	Importación del agua	0.7
Química del agua	2.2	Clima	%
Sobreexplotación del acuífero	2.2	Disminución de las precipitaciones	15.7
Calidad del agua subterránea	1.5	Tipo de clima	6.0
Diversificación del uso	1.5	Frecuencia de períodos de sequías	4.5
Eficiencia en el uso	1.5	Temperatura	4.5
Escasez de agua	0.7	Intensidad del viento	3.7
Conductividad eléctrica	0.7	Orientación de la superficie en estudio	3.7
Salinización del agua	0.7	Variabilidad de las precipitaciones	2.2
Extracción de agua subterránea	0.7	Variabilidad Climática	2.2
Número de bombas de extracción	0.7	Radiación	1.5
Aumento en el consumo de agua subterránea en riego	1.5	Tendencia de las precipitaciones	0.7
Geomorfología		Número de días con tormenta	0.7
Clasificación de las formas del relieve	6.0	Geología	
Presencia de dunas	2.2	Existencia de actividad geológica	0.7
		Tipo de formaciones geológicas	0.7

3.4. Indicadores socioeconómicos (Sociales, Políticos y Económicos)

Los indicadores sociales incluyen las características demográficas, la participación social y las relaciones humanas entre amigos y vecinos (Tabla 19). Se encontraron 14 indicadores, de éstos el más frecuentemente utilizado es: ***Características demográficas de la población***, que engloba una serie de datos como edad, tasa de crecimiento y sexo, y cabe señalar que, en general, estos trabajos son descriptivos. En segundo lugar, pero por muy debajo, está el indicador de ***derechos de la propiedad***, que constituye un indicador relevante ya que se refiere a la facultad que tiene una persona sobre la tierra.

La política, como gestora de iniciativas en la administración pública que conducen a mejoras en la sociedad, es una herramienta importante dentro de las políticas preventivas, paliativas y de recuperación de espacios degradados por desertificación. Se han encontrado ocho indicadores políticos en los estudios de casos, los más utilizados se refieren a: ***aplicación de la política pública*** y ***el número de proyectos en desertificación***. Los estudios hacen referencia a que si existe una política pública, hay una herramienta legal para hacer frente al problema. El indicador de número de proyectos en desertificación puede indicar que existen medidas conducentes a remediar o prevenir el avance de la desertificación.

Una de las variables más utilizadas en los estudios de caso es la económica, por su impacto en la sociedad y la calidad de vida de las personas. También cabe mencionar que una de las grandes presiones que sufren los recursos naturales proviene del desarrollo de las actividades económicas. La actividad agrícola, por ejemplo, es la mayor consumidora de agua en el mundo, de ahí que las actividades económicas, no solo ejercen presión sobre el medio ambiente, sino que son necesarias para la supervivencia del hombre.

Se encontraron 27 indicadores económicos, de los cuales los más utilizados son: ***tipo de uso de suelo***, seguido de ***superficie cultivada***, ***evolución del uso de suelo***, ***población ganadera***, ***producción forestal*** e ***intensidad en el uso de suelo***. En este sentido, es significativo el indicador de uso de suelo ya sea para evaluar el estado, la evolución o la presión sobre el suelo. Para ello la utilización de fotografías aéreas, imágenes de satélite y contar con una base de datos históricos se ha convertido en fundamental en los casos de estudio. A su vez, se ha observado como esta variable es trabajada a diferentes escalas (Kosmas et al., 2002), y se puede usar en una escala de

menor resolución al identificar grandes superficies cultivadas o a una escala de mayor resolución, identificando qué tipo de uso hay y el tipo de producción, por lo que es necesario definir muy bien la escala de trabajo.

Tabla 19: Indicadores socioeconómicos encontrados en los estudios de casos.

Económicos	%	Sociales	%
		Características demográficas de la	
Tipo de uso de suelo	17.2	población	14.9
Superficie cultivada	9.0	Derechos de propiedad	2.2
Evolución en el uso de suelo	6.7	Diversidad étnica religiosa	1.5
Población ganadera	5.2	Adaptación al medio ambiente	1.5
Productividad forestal	5.2	Participación local	1.5
		Presencia de conocimientos locales	
Intensidad en el uso de suelo	5.2	tradicionales	1.5
Número de agricultores	3.7	Presencia de expertos en desertificación	1.5
Intensidad ganadera o capacidad de			
pastoreo	3.7	Tipo de composición de la familia	0.7
Tipo de cultivos	2.2	Condición de la vivienda	0.7
		Comportamiento del campo para los	
Prácticas agrícolas	2.2	campesinos	0.7
Existencia de pastoreo	2.2	Comprensión de la desertificación	0.7
Expansión urbana	2.2	Relaciones humanas amigos y vecinos	0.7
Existencia de colecta de leña	2.2	Políticos	
Rotación de cultivos	1.5	Aplicación de la política pública	7.5
Tipo de actividades agrícolas	1.5	Existencia de proyectos en desertificación	6.7
Presencia de tierras en abandono	1.5	Reducción de las inundaciones	1.5
Aplicación de fertilizantes	0.7	Eficiencia en la administración pública	1.5
Mala gestión agrícola	0.7	Existencia de agenda Local 21	0.7
		Existencia de vigilancia y seguimiento de	
Tipo de estructura agrícola	0.7	los programas, planes y proyectos	0.7
Tipo de trabajo agrícola	0.7	Características del gobierno local	0.7
		Existencia de conflictos nacionales e	
Escasez de tierras	0.7	internacionales	0.7
Tipo de mecanización agrícola	0.7		
Composición ganadera	0.7		
Rendimiento ganadero	0.7		
Incremento en la demanda de alimentos	0.7		
Costos distancias conectividad	0.7		
Ingresos	0.7		

3.5. Indicadores claves y propuesta para la selección de indicadores

Los indicadores más frecuentemente utilizados son básicamente aquellos que pertenecen a cinco variables: vegetación, economía, suelos, clima y aspectos sociales. Los menos utilizados son indicadores referentes a la política, la hidrología superficial y subterránea, geomorfología y geología. Un porcentaje importante corresponde a indicadores de degradación del suelo (Figura 26). La literatura refleja los esfuerzos por investigar la desertificación desde el efecto sobre el suelo (pérdida de cobertura vegetal, cambio de uso de suelo) pero aislados de los procesos que lo causan. Es importante intensificar el uso de indicadores clave en los temas que causan, previenen o detienen la desertificación como son los sociales con indicadores de presión, pero sobre todo con indicadores de respuesta ya que estos son los que aseguran que se está previniendo o atendiendo el problema.

El análisis de correlación entre la frecuencia de la variable más estudiada y el indicador más utilizado por tema, muestra una correlación de 0.898 (Figura 25). Es decir, existe una alta correlación entre el tema con más indicadores y el indicador más frecuentemente utilizado. Con este resultado se eligieron los siguientes indicadores para evaluar los procesos de desertificación en el mundo.

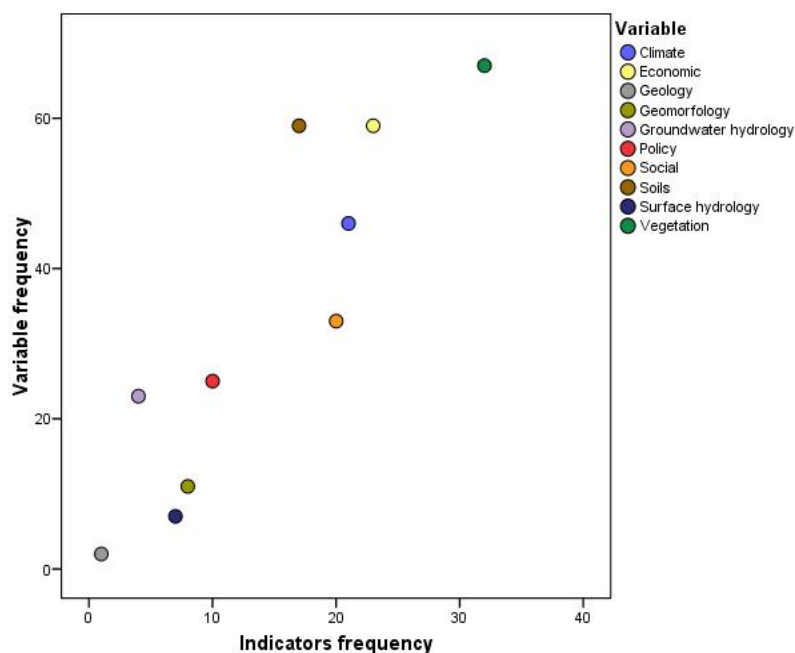


Figura 25: Diagrama de dispersión, variables más utilizadas y relación con los indicadores más frecuentemente utilizados por variable.

Después del análisis realizado se puede proponer un set de indicadores mínimos guía, con los cuales existe mayor acuerdo que permitan evaluar la desertificación en un lugar. Éstos son en orden de frecuencia los siguientes:

- 1) **Superficie de cobertura vegetal:** El porcentaje de suelo cubierto por la vegetación (DESERTLINKS, 2013). Indicador de estado.
- 2) **Tipo de uso de suelo:** Una superficie de tierra, independientemente de su tamaño, que se caracteriza por un uso particular. Este uso se asocia a un determinado tipo de gestión que se dicta principalmente por el clima y los cambios debido a factores ambientales, sociales, económicos, tecnológicos y políticos. Dependiendo del tipo de gestión o de intensidad de uso de suelo, los recursos de la tierra están sujetos a un determinado grado de estrés. (DESERTLINKS, 2013). Indicador de presión.
- 3) **Precipitación:** La precipitación es el agua que alcanza la superficie terrestre procedente de la atmósfera en forma líquida (lluvia) o sólida (nieve). (DESERTLINKS, 2013). Indicador de estado.
- 4) **Características demográficas:** Se refiere a cualquier característica de la población que pueda ser medida o contada para ser susceptible al análisis demográfico. El sexo, la edad, el estado marital, el nivel de instrucción y la ocupación. (<http://biblioteca.uprh.edu/buho-censal/caracteristicas.htm>). Indicador de presión.
- 5) **Tipo de vegetación:** Se refiere al ambiente en donde se encuentra la vegetación. Indicador de estado.
- 6) **Textura del suelo:** La textura del suelo es la proporción relativa de arena, limo y arcilla en un suelo. La arena es la fracción de 2,0 a 0,05 mm del suelo, y de acuerdo con el sistema USDA se subdivide en cinco clases (arena muy gruesa 2.0-1.0 mm, arena gruesa 1.0-0.5 mm, arena media 0.5-0.25 mm, arena fina 0.25-0.1 mm y arena muy fina 0,1-0,05 mm). El limo es la fracción de 0,05 a 0,002 mm del suelo, y la arcilla es la fracción del suelo que tiene un diámetro inferior a 0,002 mm. La textura cambia lentamente con el tiempo. (DESERTLINKS, 2013). Indicador de estado.

- 7) **Materia orgánica:** Desempeña un papel fundamental en el mantenimiento de las funciones clave del suelo y es un determinante esencial de la resistencia a la erosión y la fertilidad del suelo. La disminución de la materia orgánica (OM) es un indicador de una calidad baja en la mayoría de los suelos. La pérdida de la MO es la degradación del suelo. (DESERTLINKS, 2013). Indicador de estado.
- 8) **Erosión:** Proceso físico que consiste en el desprendimiento, transporte y deposición de las partículas individuales del suelo (Lanza et al. 1999). Indicador estado/impacto.
- 9) **Superficie cultivada:** Área destinada a cultivos. Indicador de presión.
- 10) **Pendiente:** Gradiente de la pendiente se refiere al ángulo que cualquier parte de la superficie de la tierra hace con una referencia horizontal (DESERTLINKS, 2013). Indicador de Estado.
- 11) **Tipo de suelos:** Se refiere a la clasificación según funcionalidad. Indicador de estado.

Este set de indicadores guía mínimos, son los utilizados por excelencia en los artículos; sin embargo, gran parte de ellos son de estado, por lo que es necesario trabajar en otro tipo de indicadores para el monitoreo y el seguimiento. En este sentido, el “Manual para gestores del desarrollo” (Zall and Rist., 2005) propone diez pasos hacia un sistema de seguimiento y evaluación basados en resultados. Si bien está pensado para funcionarios públicos creemos que esta metodología es útil para la gestión de la desertificación y sobre todo en la focalización de los indicadores a medir.

En el Capítulo 2 del Manual (Paso 2. “Elegir los efectos para monitorearlos y evaluarlos”), menciona la importancia de los efectos ya que los indicadores sólo son pertinentes cuando se miden en relación a un objetivo. Por tanto, medir indicadores va a mostrar los avances hechos hacia el logro de los objetivos propuestos, por lo que no se pueden confeccionar indicadores antes de definir los efectos, porque son los efectos – no los indicadores- los que van a producir los beneficios. Los efectos van a demostrar si se ha alcanzado el éxito y el camino que se debe de tomar. Por lo que es primordial, describir el problema y transformarlos en efectos para generar los indicadores de respuesta, que son escasamente utilizados en los trabajos de esta

revisión. En este sentido se plantea un cuadro metodológico para la selección de indicadores en desertificación (Tabla 20).

Basados en lo planteado por Zall and Rist (2005), sugerimos las etapas para la selección de indicadores para el seguimiento y evaluación de la desertificación. El primer paso es describir el escenario en que se encuentra el área de estudio, para poder definir los indicadores para la evaluación y con posterioridad a la evaluación, se identifican los indicadores de respuesta para el seguimiento y monitoreo.

Tabla 20: Cuadro metodológico para la selección de indicadores en desertificación, basado y adaptado de Zall and Rist (2005).

Etapas	Descripción del problema			¿Qué hay que hacer?
	Definición del escenario			
Primera etapa: Pre-Evaluación	Área no desertificada: Superficie que por sus características climáticas y de uso del territorio es sensible a sufrir procesos de degradación de la tierra	Área en proceso de desertificación: Área en que existe evidencia de procesos de degradación	Área desertificada: Áreas degradadas en zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas	Descripción del problema: Con base en información secundaria se realiza un análisis previo a la evaluación para definir el tipo de escenario a estudiar. (causas, efectos, metas)
	Definición de indicadores			¿Qué hay que hacer?
	Tipo de indicadores sugeridos según escenario			
Segunda etapa: Definición del tipo de indicadores	Área no desertificada	Área en proceso de desertificación	Área desertificada	Definición del tipo de indicadores
	Estado	Fuerzas directrices	Impacto	a) Identificación de los indicadores
	Respuesta	Presión Estado Respuesta	Estado Respuesta	b) Descripción de los indicadores c) Definición de los parámetros
Análisis integrado				¿Qué hay que hacer?
Tercera etapa: Evaluación	Evaluación áreas no desertificadas	Evaluación áreas en proceso de desertificación	Evaluación desertificadas	a) Definición del tipo de análisis a aplicar (multicriterio, multivariado otro) b) Aplicación del método c) Definición áreas en el territorio
Propuesta de indicadores de respuesta				¿Qué hay que hacer?
Cuarta etapa: Formulación de indicadores de respuesta	Indicadores de respuesta			a) Propuesta de indicadores de respuesta

4. Discusión

No hay indicadores ni métodos consensuados para evaluar una variable o componente acerca de la desertificación. Por ejemplo, para estimar la erosión eólica se puede utilizar desde el número de días con viento fuerte (Ma et al., 2007) hasta un índice como puede ser el modelo de erosión del viento (Sepehr et al., 2007). Existen, por tanto, una variedad de métodos y metodologías para evaluar una misma condición. Esto se debe principalmente a la disponibilidad de datos y a la confiabilidad de ellos, lo que hace compleja la comparación entre las diferentes escalas espaciales o lugares en el mundo. Con respecto a esto, Reed et al. (2011) mencionan la importancia del monitoreo en las escalas locales y la comparabilidad del monitoreo en las diferentes escalas espaciales, en una propuesta metodológica para el manejo sostenible de la tierra.

En cuanto al número mínimo de indicadores propuestos en esta revisión, se considera importante trabajar en los indicadores sociales y de participación ciudadana que, aunque existen, no han sido lo suficientemente aplicados y son de gran importancia para generar propuestas de mitigación, prevención y restauración de zonas desertificadas. En este sentido, propuestas como las señaladas por Abraham et al. (2006), que se basan en los conceptos de evaluación y enfoque integrado de recursos y en la planificación participativa, parecen ser una excelente aportación para la gestión y conocimientos de las relaciones hombre-medio en las escalas locales. Así, el principio número cinco del paradigma de zonas secas (DDP en inglés), menciona que la clave para mantener la coadaptación funcional del sistema humano-ambiental, es el mantenimiento actualizado de sistemas híbridos de conocimiento ambiental, el cual integra el manejo local y la experiencia política con el conocimiento científico, lo que debe ser mediado a través de un marco institucional adecuado Reynolds et al. (2007). Al comparar el listado de los indicadores propuesto por la COP 9 y el listado obtenido por nosotros de los indicadores más utilizados en los estudios de casos, varios de ellos si forman parte de los indicadores de impacto (Tabla 21), pero existen algunos aspectos que indican deficiencias como la escasez de indicadores hidrológicos en los estudios de desertificación, por lo que es fundamental estudiar cuestiones de hidrología superficial y subterráneas para obtener datos básicos geohidrológicos para las diferentes zonas áridas en el mundo, como lo son la disponibilidad y demanda de este recurso.

Tabla 21: Indicadores más frecuentemente usados que se relacionan con los indicadores de impacto propuestos.

Indicadores de impacto propuestos por la COP 9	Indicadores más frecuentemente usados que se relacionan con los indicadores de impacto propuestos por la COP 9
Disponibilidad de agua per cápita en áreas afectadas	Nivel piezométrico, sobreexplotación de las aguas subterráneas, extracción de aguas subterráneas
Cambio en el uso del suelo	Superficie de cobertura vegetal , Tipo de uso de suelo , Superficie cultivada
Proporción de la población en las zonas afectadas que viven por encima de la línea de pobreza	Características demográficas
Desnutrición infantil y / o consumo de alimentos / ingesta de calorías per cápita en las zonas afectadas	Características demográficas
Índice de Desarrollo Humano, definido por el PNUD	Características demográficas
Nivel de degradación de la tierra (incluyendo salinización y erosión por el agua y el viento, etc.)	Tipo de uso de suelo, Clase textural, Presencia de erosión, Superficie cultivada
Biodiversidad vegetal y animal.	Superficie de cobertura vegetal, Tipo de vegetación
Índice de aridez.	Precipitaciones
Estado de la cubierta de suelo	Superficie de cobertura vegetal , Tipo de uso de suelo, Superficie cultivada, Tipo de pendientes
Reservas de carbono por encima y por debajo del suelo	Contenido de materia orgánica
Tierras por debajo de la sostenibilidad	Superficie de cobertura vegetal, Superficie cultivada

Indicadores como la migración, el crecimiento demográfico negativo, la pobreza y el abandono de tierras parecieran indicadores que reflejan mejor el contexto social de los impactos de la desertificación sobre la sociedad, por lo que se sugiere revisar los indicadores y discutirlos con base a la información disponible. Otro indicador propuesto como es el de tierras por debajo de la sostenibilidad, es discutible también desde su origen conceptual, pues ¿cuál es la definición de tierras bajo la sostenibilidad?, ¿Qué es lo que se quiere saber de la desertificación? Por ello es fundamental trabajar en los indicadores que reflejen el origen, el estado, los impactos y las respuestas que debe de dar la sociedad al problema, como un trabajo holístico y no parcializado concentrado en cierto tipo de indicadores, ya que pensamos que el proceso de degradación de tierras secas es mucho más complejo. Sin embargo, esto no quiere decir que hay que continuar buscando indicadores, sino que es necesario

encontrar aquellos indicadores claves que reflejen esta complejidad de los sistemas ambientales en zonas secas.

5. Conclusiones

Existe un aumento de los artículos científicos en los últimos cinco años y el país con mayor producción de artículos es China, esto puede ser producto de la gran superficie árida de este país, siendo en su mayoría estudios locales publicados principalmente en la revista *Journal of Arid Environment*. Otros resultados de la caracterización de las publicaciones es que existen estudios de desertificación en zonas húmedas, cuando por definición se habla de desertificación en zonas áridas, semi-áridas y subhúmedas secas, pareciera que existe cierta confusión con respecto a cuándo se habla de desertificación y cuando se habla de degradación de tierras.

Se identificaron 129 indicadores, en su mayoría los estudios utilizan datos biofísicos y socioeconómicos, aunque estos no sobrepasan el 45% de las publicaciones. La variable más utilizada es la vegetación, con escasa utilización de datos hidrológicos. Esto llama la atención considerando los conflictos sociales que se observan en diferentes partes en el mundo por el recurso hídrico en zonas áridas. Las cinco variables mayormente utilizadas son: vegetación, economía, suelos, clima y aspectos sociales.

En su mayoría los indicadores encontrados son de estado, por lo que se sugiere encontrar y trabajar en propuesta de indicadores claves mínimos referidos a presión, respuesta, fuerzas directivas e impacto y sus relaciones, con el objetivo de encontrar indicadores mínimos capaces de reflejar la realidad compleja de los sistemas ambientales en zonas secas, referidos a la degradación de tierras.

A través del análisis de la revisión realizada se pudo identificar otro problema a solucionar, las escalas de trabajo. Es necesario identificar indicadores a diferentes escalas, ya que esto ayudaría a hacer más precisos los estudios y concentrar los esfuerzos en las localidades con sus comunidades, ya que existe una gran dispersión en las metodologías de evaluación y, más aún, en las formas en cómo se acoplan los indicadores biofísicos y socioeconómicos.

Otro desafío es llegar a cierto acuerdo en cuanto a un marco metodológico general de evaluación de la desertificación, que necesariamente debería incluir las cinco variables mínimas que habitualmente son utilizadas y que en orden de frecuencia de

uso son: vegetación, economía, clima, suelos y aspectos sociales. Muchas veces en los títulos de los artículos aparece “desertificación”, pero en ellos sólo se hace un análisis descriptivo de uno o dos indicadores, y no se incluye el conjunto de relaciones con otros temas y otros indicadores que forman parte del problema.

Es importante mencionar que el mejor indicador es el disponible, por lo que hay que fijar ciertos criterios generales para el uso de los indicadores. Es difícil realizar una propuesta mínima de indicadores generales para todas las tierras secas del mundo, sobre todo, por las diferencias entre las realidades de los diferentes países y regiones. Una buena propuesta sería trabajar en indicadores regionales a diferentes escalas según zonas geográficas.

Un desafío aún mayor es la investigación para la construcción de índices que combinen diferentes indicadores. En este sentido se considera que no es necesario seguir generando nuevos indicadores, sino que los esfuerzos se deben de centrar en la construcción de índices y en la definición de indicadores mínimos de uso, para cada lugar o zona geográfica.

6. Agradecimientos

Los autores agradecen la Beca CONICYT del gobierno de Chile, la Beca CONACYT del gobierno de México, al Instituto de Investigaciones Oceanológicas y al doctorado en Medio Ambiente y Desarrollo de la Universidad Autónoma de Baja California (México) y al Departamento de Geografía de la Universidad de Murcia (España).

7. Referencias

- Abraham, E., E. Montaña, L. Torres. 2006. Desertificación e indicadores: Posibilidades de medición integrada de fenómenos complejos. Scripta Nova X.
- Acton, D.F., G.A. Padbury. 1993. A conceptual framework for soil quality assessment and monitoring. p. 2–10. In A program to assess and monitor soil quality in Canada: Soil quality summary. Res. Branch, Agric. Canada, Ottawa, ON.
- Baartman, J.E.M., van Lynden, G.W.J., Reedd, M.S., Ritsema, C.J., Hessel, R. 2007. Desertification and land degradation: origins, processes and solutions. A literature review. DESIRE Report number 4 Series: Scientific reports.
- Barron J. 2011. White Paper. Scientific review of the UNCCD provisionally accepted set of impact indicators to measure the implementation of strategic objectives 1, 2

- and 3. http://www.unccd.int/en/programmes/Science/Monitoring-Assessment/Documents/White%20paper_Scientific%20review%20set%20of%20indicators_Ver1.pdf
- Brandt, C. J., J. B. Thornes .1996. Mediterranean desertification and land use, Wiley.
- Camci Çetin, S., Karaca, A., Haktanır, K.,Yildiz, H. 2007. Global Attention to Turkey Due to Desertification. *Environ Monit Assess*, 128 (1-3), 489-493.
- Costa, A. C., A. Soares. 2012. Local spatiotemporal dynamics of a simple aridity index in a region susceptible to desertification. *Journal of Arid Environments* 87(0): 8-18.
- Doran, J.W. ,T.B. Parkin. 1996. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. In J.W. Doran and A.J. Jones, eds. *Methods for Assessing Soil Quality*. SSSA, Inc., Madison, Wisconsin, USA.
- Economic Development Secretariat. 2007. Methodology for the development of indicators for Monitoring and Evaluation. ALCALDÍA MAYOR BOGOTÁ D.C.
- European Environment Agency (EEA). 2003. Environmental Indicators: Typology and Use in Reporting. EEA internal working paper.
- Fantechi, R. 1995. Desertification in a European Context: Physical and Socio-economic Aspects, European Commission.
- Filiberto, R., Mantelga, M. A., Sunyer, C., García, M.M, Alvarez Arenas, M. 1996. Indicadores ambientales. Una propuesta para España. Ministerio de Medio Ambiente. Serie Monografías. Madrid, 146 pp.
- Geeson, N. A.; Brandt, C. J. and Thornes, J. B. 2003. Mediterranean Desertification: A Mosaic of Processes and Responses. Wiley.
- Geist H.J., Lambin E.F. 2004. Dynamic Causal Patterns of Desertification. *BioScience* 54 (9):817-829.
- Grainger, A. 2009. Developing a baseline survey for monitoring biophysical and socio-economic trends in desertification, land degradation and drought. Consultancy report. UNCCD.

- Helldén, U. 2008. A coupled human–environment model for desertification simulation and impact studies. *Global and Planetary Change* 64(3–4): 158-168.
- Ibrahim, F. 1978. Desertification, ein weltweites Problem. *Geogr. Rundschau* 30, 3.
- Imeson, A., Cammeraat, E. 2000. Scaling up from field measurements to large areas using the Desertification Response Unit and Indicator Approaches. In O. Arnolds & S. Asher (Eds.) *Rangeland Desertification*. Kluwer Academic Press, Dordrecht, 99-114.
- Kosmas, C., Danalatos, N.G., Lopez-Bermúdez, F., Romero-Díaz, M.A., 2002. The effect of land use on soil erosion and land degradation under Mediterranean conditions. In: *Mediterranean Desertification: a mosaic of processes and responses*. Geeson, N.A., Brandt, C.J., Thornes, J.B. (Eds.), John Wiley & Sons, Chichester, England, 440 pp.
- Kust, G. S., O. V. Andreeva, D. V. Dobrynin .2011. Desertification assessment and mapping in the Russian Federation. *Arid Ecosystems* 1(1): 14-28.
- Ladisa, G.; Todorovic, M. and Trisorio Liuzzi, G. 2012. A GIS-based approach for desertification risk assessment in Apulia region, SE Italy. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C* , 49 (0), 103-113.
- López Bermúdez; F., González Barbera, G. 2000. Indicators of Desertification in Semiarid Mediterranean Agroecosystems of Southeastern Spain. En G. Enne, M. D' Angelo y A. Aru (Eds), *Indicators for assessing desertification in the Mediterranean*. Observatorio Nazionale sulla Desertificazione, European Commission, DG-XII. Porto Torres, Cerdeña, Italia. 164-176.
- López Bermúdez, F. 1999. Indicadores de la desertificación: una propuesta para las tierras mediterráneas amenazadas. *Murgetana* 100: 113-128. Murcia.
- López Bermúdez, F., Romero Díaz, A. 1998. Erosión y desertificación: implicaciones ambientales y estrategias de investigación. *Papeles de Geografía*, 28: 77-89. Murcia.
- Ma, Z., Xie, Y., Jiao, J., li, L., Wang, X. 2011. The Construction and Application of an Aledo-NDVI Based Desertification Monitoring Model. *Procedia Environmental Sciences*, 10, Part C, (0), 2029-2035.

- Mabbut J.A. 1986. Desertification Indicators. *Climatic Change* 9(1-2): 113-122.
- Maestre, F. T., M.A. Bowker, M.D. Puche, B. Hinojosa, M. Martínez, P. García-Palacios, A. Castillo, S. Soliveres. 2009. Shrub encroachment can reverse desertification in semi-arid Mediterranean grasslands. *Ecology Letters*, 12: 930-941.
- Millennium Ecosystem Assessment. MEA. 2005. Ecosystems and Human Well-being: Desertification Synthesis. World Resources Institute, Washington, DC.
- Mu'taz Al-Alawi. 2008. Desertification in Jordan. *Environmental Change and Human Security: Recognizing and Acting on Hazard Impacts NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security* 2008, pp 81-102.
- Organization for Economic Cooperation and Development (OECD). 1993. OECD core set of indicators for environmental performance reviews, Paris.
- Puigdefábregas, J., T. Mendizabal (1998). "Perspectives on desertification: western Mediterranean." *Journal of Arid Environments* 39(2): 209-224.
- Rasmussen, K., B. Fog, Madsen J. 2001. Desertification in reverse? Observations from northern Burkina Faso. *Global Environmental Change* 11(4): 271-282.
- Reynolds, J. F., Grainger, A., Stafford Smith, D. M., Bastin, G., Garcia-Barrios, L., Fernández, R. J., Janssen, M. A., Jürgens, N., Scholes, R. J., Veldkamp, A., Verstraete, M. M., Von Maltitz, G., Zdruli, P. 2011. Scientific concepts for an integrated analysis of desertification. *Land Degradation & Development* . 22 (2), 166-183.
- Reynolds, J. F., Smith, D. M. S., Lambin, E. F., Turner, B. L., Mortimore, M., Batterbury, S. P. J., Downing, T. E., Dowlatabadi, H., Fernández, R. J., Herrick, J. E., Huber-Sannwald, E., Jiang, H., Leemans, R., Lynam, T., Maestre, F. T., Ayarza, M., Walker, B. 2007. Global Desertification: Building a Science for Dryland Development. *Science* , 316 (5826), 847-851.
- Reynolds J.F., F.T. Maestre , E. Huber-Sannwald, J. Herrick and P.R. Kemp. 2005. Aspectos socioeconómicos y biofísicos de la desertificación . *Ecosistemas* . 2005/3 .

- Reynolds J.F. and D.M. Stafford Smith .2002. Global Desertification: Do Humans Cause Deserts?. Eds, Reynolds JF & Stafford Smith D.M. Dahlem Workshop Report 88, Dahlem University Press, Berlin, pp. 1-21.
- Rubio, J. L., E. Bochet. 1998. Desertification indicators as diagnosis criteria for desertification risk assessment in Europe. *Journal of Arid Environments* 39(2): 113-120.
- Salvati, L., S. Bajocco .2011. Land sensitivity to desertification across Italy: Past, present, and future. *Applied Geography* 31(1): 223-231.
- Santibañez F., P.Santibañez. 2005. Monitoring desertification through environmental and social indicators and participatory methods: MONITOR system. In poverty, desertification and degradation of natural resources. C. Morales, S. Parada.CEPAL, Santiago, Chile.
- Sepehr, A., Hassanli, A. M., Ekhtesasi, M. R., Jamali, J. B. 2007. Quantitative assessment of desertification in south of Iran using MEDALUS method. *Environ Monit Assess* , 134 (1-3), 243-254.
- Sommer, S., Zucca, C., Grainger, A., Cherlet, M., Zougmore, R., Sokona, Y., Hill, J., Della Peruta, R., Roehrig, J., Wang, G. 2011. Application of indicator systems for monitoring and assessment of desertification from national to global scales. *Land Degradation & Development* , 22 (2), 184-197.
- United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD). 2011. Desertification: A Visual Synthesis: 50. Secretariat, Bonn, Germany.
- United Nations Environment Programme (UNEP).1992. World Atlas of Desertification and Changes in Land Use. Edward Arnold. Londres.
- Verstraete, M., A. B. Brink, R. Scholes, M. Beniston, M. Stafford. 2008. Climate change and desertification: Where do we stand, where should we go?. *Global and Planetary Change* 64(3-4): 105-110.
- Verzandvoort, S. 2011. Cross-scale monitoring and assessment of land degradation and sustainable land management: A methodological framework for knowledge management. *Land Degradation & Development*, 22 (2), 261-271.

- Vogt, J. V., Safriel, U., Von Maltitz, G., Sokona, Y., Zougmore, R., Bastin, G., Hill, J. 2011. Monitoring and assessment of land degradation and desertification: Towards new conceptual and integrated approaches. *Land Degrad. Dev.*, 22: 150–165.
- Wei, L., Shengkui C., X. Haiyang, Qi F. 2010. Land use history and status of land desertification in the Heihe River basin. *Natural Hazards* 53(2): 273-290.
- Wu, B. and L. J. Ci. 2002. Landscape change and desertification development in the Mu Us Sandland, Northern China. *Journal of Arid Environments* 50(3): 429-444.
- Zall K. J., Rist, R. C. 2005. Ten Steps to a Results-Based Monitoring and Evaluation System to a Results-Based Monitoring and Evaluation System.. Washington, D.C./Bogota. Worldbank. xvii, 263.

3.2 Diseño de un modelo de riesgo (Fase 1 de la estrategia del apartado 3.1.1).

3.2.1 Levantamiento de información primaria para suplir la falta de datos hidrológicos.

3.2.1.1 Diseño de un índice hidrológico con base en Maneadero

1. Los indicadores hidrológicos

Se hizo una revisión en 134 casos en el mundo de estudios en desertificación (Huaico et al., manuscrito). Para nuestra sorpresa, la cantidad de trabajos que utilizan la variable hidrológica en las evaluaciones es muy escasa, a pesar de que la disponibilidad del recurso hídrico para el desarrollo de zonas áridas es primordial. Se encontró que solo un 5.2% de los trabajos seleccionados usan indicadores de hidrología superficial y solo un 17.2% indicadores de hidrología subterránea.

En el análisis de la literatura se encontraron 12 indicadores de aguas subterráneas y manejo de agua, siendo los más frecuentemente usados: Nivel de la capa freática, química del agua y sobreexplotación del acuífero. Estos indicadores básicamente están orientados a conocer las presiones que se están ejerciendo sobre este recurso (Tabla 21).

En zonas áridas la hidrología superficial se caracteriza por su variabilidad de acuerdo con el régimen de las precipitaciones, por lo que muchos de los cursos de agua carecen de flujo superficial permanente en gran parte del año, por lo que se reducen a seis los indicadores de hidrología superficial. Los más frecuentemente usados son: cambios en la red de drenaje y carga de sedimentos. Estos indicadores están orientados a identificar los procesos y, como los de agua subterránea y manejo de agua, a presiones sobre el ecosistema, ya que se relacionan con procesos de erosión y sedimentación principalmente (Tabla 21).

Tabla 22: Indicadores referentes a hidrología utilizados en los 134 artículos seleccionados para este análisis.

Hidrología subterránea	Frecuencia de uso en estudios de caso %	Hidrología Superficial	Frecuencia de uso en estudios de caso %
Nivel de la capa freática	3.0	Cambios en la red de drenaje	5.2
Química del agua	2.2	Aumento en la carga de sedimentos	1.5
Sobreexplotación del acuífero	2.2	Presencia de embalses	0.7
Calidad del agua subterránea	1.5	Volumen de los cuerpos de aguas	0.7
Diversificación del uso	1.5	Aumento en la mineralización y salinización del agua	0.7
Eficiencia en el uso	1.5	Importación del agua	0.7
Escasez de agua	0.7		
Conductividad eléctrica	0.7		
Salinización del agua	0.7		
Extracción de agua subterránea	0.7		
Número de bombas de extracción	0.7		
Aumento en el consumo de agua subterránea en riego	1.5		

2. Las causas de los problemas de degradación de tierras en Maneadero

Geist y Lambin (2004) mencionan la importancia de distinguir las causas que están originando los procesos de desertificación ya que los indicadores deben apuntar a conocer e identificar el origen del problema para generar y proponer estrategias para la prevención y remediación de la desertificación.

Existen una serie de estudios acerca del diagnóstico del recurso hídrico en el área, entre ellos uno que se relaciona con el agua y los problemas que son percibidos por la comunidad (Foro ciudadano, 2010 por la ONG “Haciendo lo Necesario”). Otros trabajos se relacionan con diagnósticos de la CONAGUA, tesis de maestrías y artículos científicos. Los anteriores estudios demuestran que la degradación del acuífero de Maneadero está poniendo en peligro el desarrollo social y económico de la zona, ya que no solo está siendo escasa el agua para la agricultura, sino que también el acceso del agua para la población.

Los estudios mencionan que la actividad agrícola es la mayor consumidora de agua en la zona. Esta actividad comenzó desde finales del siglo XIX cuando tres empresas iniciaron la actividad agrícola en el valle y fue a partir del 21 de febrero de 1961 que

el acuífero fue vedado, debido a la intensa explotación para fines agrícolas. A pesar de esto, a finales de la década de los sesentas y a principios de los setentas el acuífero presentó evidencias de sobreexplotación con un deterioro de la calidad del agua, especialmente durante períodos secos. En el 2002 la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) evaluó la disponibilidad de agua en el acuífero de Maneadero y concluyó que la descarga supera a la recarga en un 23.8%, por lo que la condición geohidrológica es “sobreexplotado” (CONAGUA, 2002).

Entre los principales aspectos documentados que registran la evolución en el tiempo de algunos indicadores en este tema se encuentran:

- **Precipitaciones**

El clima de Maneadero, según la clasificación de Köppen es de tipo mediterráneo, con un promedio de precipitaciones de 260.9 mm.

Según la gráfica obtenida con los promedios de precipitaciones anuales desde el año 1949 hasta el 2010 (Figura 27), las precipitaciones tienen tendencia a disminuir a lo largo de los años, esto se puede deber a un cambio en las condiciones generales de las precipitaciones en la zona, lo que afectaría negativamente la recarga del acuífero.

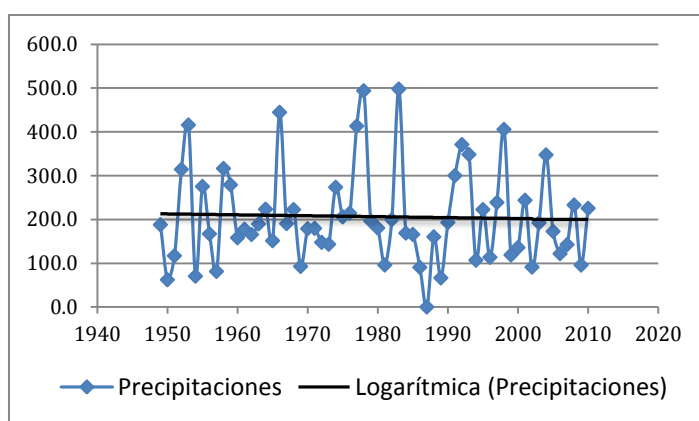


Figura 26: Tendencia de las precipitaciones (mm anuales) en Maneadero, Baja California, México. (CICESE, 2014)

- **Total de Sólidos Disueltos**

El total de sólidos disueltos es un buen indicador de calidad del agua, ya que se constituye en una guía con respecto a las características del agua y a la presencia de contaminantes químicos. En Maneadero la composición química y concentración en sales y otros del agua ha ido aumentando en los últimos años como muestra la Figura

28. La línea de tendencia indica que desde la década de los setenta el aumento ha sido sostenido con una clara predisposición a seguir aumentando en el tiempo y con ello un desmedro de las características naturales del área.

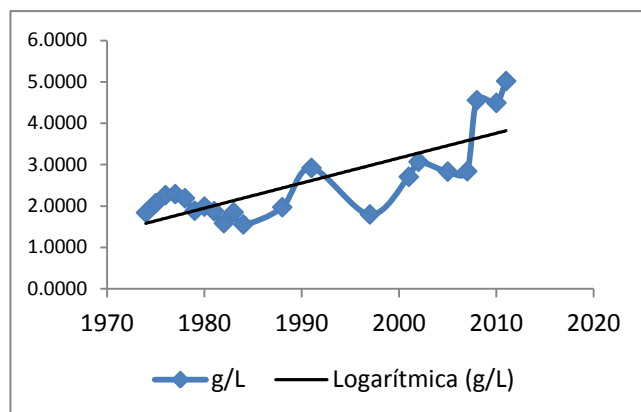


Figura 27: Tendencia del promedio de total de sólidos disueltos en Maneadero (CESPE).

- **Nivel piezométrico**

La Figura 29 muestra los niveles estáticos que corresponden al nivel freático o de la superficie piezométrica cuando no está influida por el bombeo o alimentación; en el caso del área de estudio se poseen datos continuos desde 1985.

La línea de tendencia muestra que en promedio la inclinación de los niveles desde mediados de los noventa ha ido en aumento, esta condición puede mantenerse si continúan los actuales niveles de extracción de agua desde el acuífero y la escasez de precipitaciones.

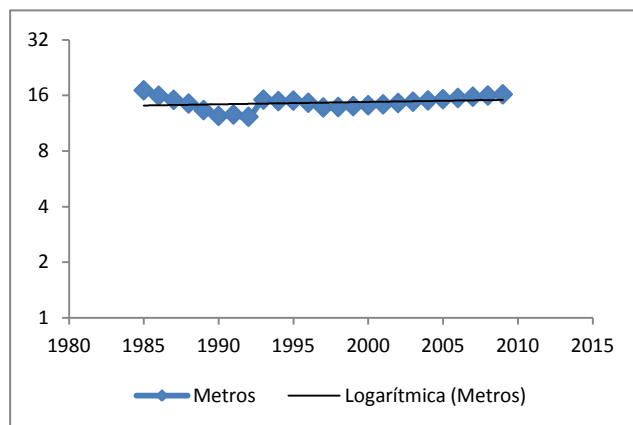


Figura 28: Tendencia del nivel estático del acuífero de Maneadero, Baja California, México. (CESPE).

- **El Consumo de Agua**

Según datos de la CONAGUA (2010) y con base en el Censo de Aprovechamiento (CONAGUA, 2010), el mayor consumo referido al volumen extraído y según uso, corresponde a la actividad agrícola (67%), seguido del uso público-urbano (29%). La Figura 30 muestra el volumen de extracción en m^3 , según censo de pozos 2010.

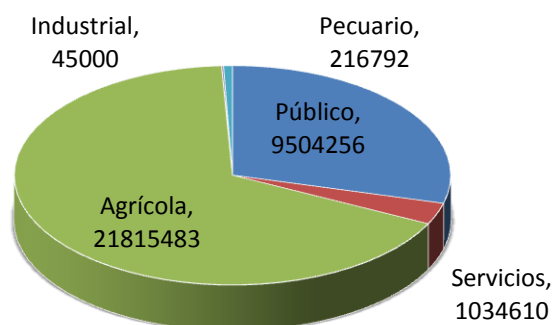


Figura 29: Volumen de extracción de agua en m^3 . Fuente: CONAGUA, 2010

3. El índice hidrológico

El objetivo es construir un índice que se relacione con la sensibilidad del acuífero a sufrir procesos de degradación. Para lo anterior se entenderá por sensibilidad hidrológica, a un área que ha visto disminuidas sus funciones ambientales de disponibilidad y calidad hídrica, lo que afecta en un sentido más amplio a todo el ecosistema en estudio.

Para la selección de los indicadores para la construcción del índice se consideraron como criterios las causas de la degradación, y las características para los indicadores sugeridos por la OCDE (1993) y Rubio y Bochet (1998):

- a) Medibles objetiva y científicamente,
- b) Preferentemente cuantitativos,
- c) Fáciles y de efectivo coste de medir y/o recolectar información,
- g) Adaptados a la problemática y condiciones particulares de la situación en que se aplican.
- h) Sensibles a los cambios ambientales propios de la situación,
- i) Simples en concepto y accesibles para evaluación tanto por especialistas como por gestores de los recursos naturales,
- j) Capaces de permitir la formulación y aplicación de directrices para la adecuada gestión de los recursos naturales.

La información disponible para la aplicación del indicador hidrológico se encontró en diferentes fuentes de información de acuerdo a la Tabla 23.

Tabla 23: Datos y fuentes para definir un indicador hidrológico en México.

Dato	Fuente
Precipitaciones	Sitio web http://peac-bc.cicese.mx/datosclim/dchc.php#
Niveles Piezométricos	CESPE, Daesslé et al.2014
Total de sólidos disueltos	CESPE, Daesslé et al.2014
Tasa de cambio de uso de suelo	Fotografías aéreas INEGI, 1985 y 2010, escala 1:25.000

Con ellos se construyó el índice hidrológico. Se tomó como ejemplo el algoritmo utilizado por Kosmas (1999), Ochola y Kerkides (2004) y lo que proponen en sus trabajos Farajzadeh y Nik Egbal (2007), Sepher (2008) y Bakr et al. (2012), para evaluar la calidad hidrológica.

$$f(x) = (a_1 \times a_2 \dots a_n)^{1/n}$$

(Ochola y Kerkides, 2004)

A cada uno de los indicadores seleccionados se les asignó un peso (Tabla 3) y el índice de sensibilidad hidrológica a la desertificación para Maneadero se construyó con el siguiente algoritmo:

$$\text{Índice. hidrológico} = (\text{precipitaciones} * \text{nivel freático} * \text{tds} * \text{consumo de agua subterránea según uso de suelo})^{1/4}$$

A cada unidad según las diferentes cartografías se les asigna un peso (Tabla 24) las cuales se multiplican según la fórmula y las unidades se clasifican según los rangos obtenidos de acuerdo a los quiebres naturales de los datos. Lo anterior se obtiene a través del programa Arcgis 10 se obtuvieron los resultados del algoritmo los cuales fueron divididos en tres clases (Tabla 25), a través de la opción: Paso 1)layer properties, Paso 2) quantities, Paso 3)classify, Paso 4)natural breaks (jenks)”

Tabla 24: Indicadores, parámetros y valores.

Índice	Parámetro	Ponderador
	TDS	
Hidrológico	Hasta 1000	1
	1000-2000	1.8
	2000 en adelante	2
	Nivel Piezométrico	
	Profundo	2
	Medianamente profundo	1.6
	Poco profundo	1.3
	Superficial	1
	Precipitación (milímetros)	
	> 650	1
	280- 650	2
	<280	4
	Consumo de agua	
	Cultivos agrícolas anuales	2
	Matorral y praderas	1.3
	Matorral arborescente, matorral de suculentas, bosque nativo	1

Tabla 25: Clases y tipos de sensibilidad hidrológica.

Clases	Tipo
0.000000 - 1.414214	Baja sensibilidad
1.414215 - 1.590541	Mediana sensibilidad
1.590542 - 1.891483	Alta sensibilidad

4. Resultados

Se identifican tres secciones: una con baja sensibilidad hidrológica a la desertificación que corresponde básicamente al sector que se ha llamado de baja intervención, una sección intermedia de mediana sensibilidad y la zona de piedmont con una alta sensibilidad (Figura 31).

La sección de baja intervención, con una superficie de 2,704 hectáreas, tiene este resultado por un muy bajo desarrollo agrícola ya que se presenta principalmente adyacente al mar y por la influencia marina sus suelos no permiten otro tipo de cultivos más que aquellos que poseen adaptabilidad a la salinidad, como la vegetación halófitas. Los niveles piezométricos son altos, aunque el total de sólidos disueltos es alto.

Se identifica también una sección asociada a la salida de una quebrada que se encuentra bien conservada y que aparentemente posee buenos suelos, por lo tanto con buena infiltración. También aparecen con baja sensibilidad las salidas de los arroyos al mar (Figura 31).

La sección intermedia es de transición entre la sección con alta influencia marina sin agricultura y la zona de piedmont, esta área posee gran desarrollo agrícola, es una superficie de 1,349 ha, sin embargo no es la zona que presenta mayor sensibilidad a la desertificación, principalmente a que los niveles piezométricos son medios.

La sección de piedmont (7,804 ha) es una zona con alto desarrollo agrícola, no obstante también está sufriendo procesos de urbanización. Esta sección es la más sensible, por los bajos niveles piezométricos y a los altos niveles de sólidos disueltos totales. Existe también una sección altamente sensible en medio de la zona intermedia que corresponde a un pozo con una alta extracción ya que provee de agua a la ciudad de Ensenada (Figura 31)

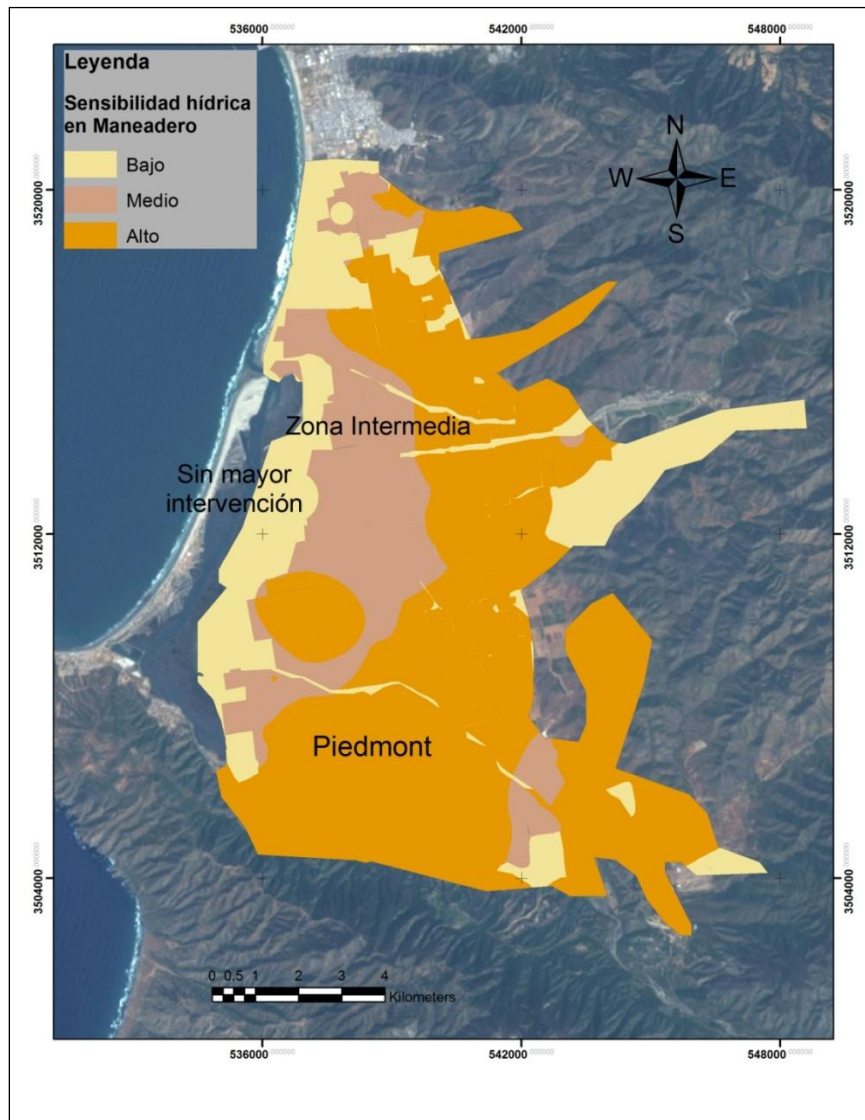


Figura 30: Sensibilidad hídrica a la desertificación del acuífero de Maneadero.

5. Discusión y Conclusiones

La hidrología ha sido pobremente incorporada en los modelos de evaluación de la desertificación y en los diferentes estudios de casos, lo anterior se cree que se debe a la falta de información disponible y la escasez de monitoreo de las aguas en las zonas áridas.

El índice de sensibilidad hídrica a la desertificación ha tenido como base los logaritmos planteados por Kosmas (1999) y Ochola y Kerkides (2004). El mismo principio lo usaron en la creación de sus propios índices hídricos en algunos de los escasos trabajos que utilizan indicadores hidrológicos: Farajzadeh y Nik Eghal (2007),

Sepher (2008) y Bakr et al. (2012), adecuados a la realidad de cada uno de los sitios en estudio.

También Sharma (1998) en uno de los pocos y valiosos trabajos en indicadores hidrológicos en desertificación menciona que cambios secuenciales en la profundidad de los acuíferos afecta su calidad, asimismo dice que el decrecimiento de la infiltración en las cuencas debido a la escasez de lluvias causa erosión producto de la reducción de la cobertura vegetal natural. Con todos los antecedentes anteriores, zonas como Maneadero se presentarán más críticas por el cambio climático.

En este mismo contexto, lo que está pasando en Maneadero con la disminución de la calidad del agua del acuífero y la alta sensibilidad hídrica a la desertificación se relaciona con las mismas características de degradación presentes en otros lugares en el mundo. Mu`taz Al-Alawi (2008) hace una caracterización de la desertificación y los temas críticos que conducen a la desertificación en Jordania y en relación al deterioro de la calidad el agua hace el siguiente análisis (Tabla 26):

Tabla 26: El agua y la desertificación, Mu`taz Al-Alawi (2008).

Evidencia	Fuente	Impactos
1)Agotamiento de las aguas subterráneas y de superficie	1)Sobreexplotación del agua	1)Incremento de la escasez del agua
2)Intrusión de agua salina	2)Demanda irracional del agua	2)Salinización y pérdida de tierras agrícolas
3)Contaminación de aguas superficiales y de los acuíferos	3)Descarga de aguas residuales	3)Negativo impacto sobre lo humano y el medio ambiente
	4)Falta de conciencia	
	5)Falta de políticas integrales para la agricultura y el agua	

Las actividades productivas relacionadas con la agricultura demandan gran cantidad de agua y la zona de Maneadero desde el siglo pasado que tiene una gran actividad económica relacionada con esta actividad y muestra las características propias de valles agrícolas costeros, con sobreexplotación de sus acuíferos.

Se sugiere que por las condiciones actuales del acuífero se necesita resguardar las zonas de recarga natural, conocer las prácticas locales de uso del agua que tienen los productores, para proponer medidas u estrategias para el sector.

Se necesita que el monitoreo de las condiciones de disponibilidad y calidad del agua sea una estrategia que se mantenga a través del tiempo para garantizar el diagnóstico y planificación del sector.

6 . Referencias

- Acton, D.F., and G.A. Padbury. 1993. A conceptual framework for soil quality assessment and monitoring. p. 2–10. In A program to assess and monitor soil quality in Canada: Soil quality summary. Res. Branch, Agric. Canada, Ottawa, ON.
- Baartman, J.E.M., van Lynden, G.W.J., Reedd, M.S., Ritsema, C.J., Hessel, R. 2007. Desertification and land degradation: origins, processes and solutions. A literature review. DESIRE Report number 4 Series: Scientific reports.
- CICESE, 2014. Base de datos climáticos del Noroeste de México. <http://peac-bc.cicese.mx/datosclim/dcbc.php#>
- CONAGUA. (2002).Determinación de la diponibilidad del Agua en el Acuífero de Maneadero, Estado de Baja California. Gerencia de Aguas Subterráneas. Subdirección General Técnica. Subgerencia de Evaluación y Modelación Hidrogeológica.
- CONAGUA.(2002).Plan de Manejo Integrado del Agua para el Acuífero de Maneadero, B.C. Ensenada, B.C: DESARROLLO Y SISTEMAS, S.A.
- Daesslé L.W., M. A. Pérez-Flores, J. Serrano-Ortiz, L. Mendoza-Espinosa, E. Manjarrez-Masuda, K. C. Lugo-Ibarra, and E. Gómez-Treviño, 2014. 'A Geochemical and 3d-Geometry Geophysical Survey to Assess Artificial Groundwater Recharge Potential in the Pacific Coast of Baja California, Mexico', Environmental Earth Sciences, 71, 3477-90.
- Doran, J.W. and T.B. Parkin. 1996. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. In J.W. Doran and A.J. Jones, eds. Methods for Assessing Soil Quality. SSSA, Inc., Madison, Wisconsin, USA.
- Geist, H. J. and E. F. Lambin (2004). "Dynamic Causal Patterns of Desertification." BioScience **54**(9): 817-829.

- Kosmas C., M. T., N. Moustakas, et al. (2005). Environmentally Sensitive Areas and Indicators of Desertification. Desertification in the Mediterranean Region. A Security Issue: Proceedings of the NATO Mediterranean Dialogue Workshop, Held in Valencia, Spain, 2-5 December 2003. J. L. R. William G. Kepner, David A. Mouat, Fausto Pedrazzini, Springer: 614.
- Kosmas C., M. Kirkby, et al, 1999. The Medalus project: Mediterranean desertification and land use. Manual on key indicators of desertification and mapping environmentally sensitive areas to desertification. European Union.
- Licona A., 2011. Sistema de información integral del acuífero de Maneadero, B.C., México con fines de Manejo. Tesis de Maestría en Ciencias en Manejo de Ecosistemas de Zonas Áridas.
- Mu'taz Al-Alawi. 2008. Desertification in Jordan. Environmental Change and Human Security: Recognizing and Acting on Hazard Impacts NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security 2008, pp 81-102
- Oladipo, E. O. 1993. A comprehensive approach to drought and desertification in Northern Nigeria. Natural Hazards 8(3): 235-261.
- OECD (Organization for Economic Cooperation and Development). 1993. OECD core set of indicators for environmental performance reviews, Paris.
- Rubio, J. L. and E. Bochet .1998. Desertification indicators as diagnosis criteria for desertification risk assessment in Europe. Journal of Arid Environments 39(2): 113-120.
- Saiko, T. A. y I. S. Zonn .2000. Irrigation expansion and dynamics of desertification in the Circum-Aral region of Central Asia. Applied Geography 20(4): 349-367.
- SEDESOL, 2010. Secretaría de Desarrollo Social, México.
<http://www.microrregiones.gob.mx/catloc/contenido.aspx?refnac=020010139>
- Sepehr, A., Hassanli, A. M., Ekhtesasi, M. R., Jamali, J. B. 2007. Quantitative assessment of desertification in south of Iran using MEDALUS method. Environ Monit Assess , 134 (1-3), 243-254.

Sharma, K. D. (1998). "The hydrological indicators of desertification." *Journal of Arid Environments* 39(2): 121-132.

UNCCD, 2011. Desertificación: Una síntesis visual. UNCCD Publications.
<http://www.unccd.int/Lists/SiteDocumentLibrary/Publications/Desertification-SP.pdf>

3.2.2 Las Crecidas Fluviales en el Estero Puangue.

Artículo aceptado en Septiembre del 2012. Evaluado por pares y publicado en el libro: Avances de la Geomorfología en España 2010-2012. ISBN 978-84-6616-54-5

Crecidas Fluviales en la cuenca semiárida del Puangue en Chile, una explicación fundamentada para la ordenación del territorio.

River floods in the semiarid basin in Puangue in Chile, a reasoned explanation for territorial planning.

A. Huaico-Malhue (1)

- (1) Instituto de Investigaciones Oceanológicas. Universidad Autónoma de Baja California (México), Km 107 Carretera Tijuana-Ensenada, Ensenada, Baja California, México. ana.huaico@uabc.edu.mx

Abstract: River floods in the semiarid basin Puangue in Chile, mainly affect the rural poor. This paper analyses the floods in the María Pinto municipality, and proposes strategic and territorial guidelines for the prevention of risk. This work studies the climatology, geomorphology, hydrology, hydrometeorological and the socioeconomic characteristics of the area. This knowledge of the phenomenon, on a scientific basis, is important for generating sustainability strategies.

Palabras clave: Crecidas fluviales, ordenación del territorio, riesgo, estrategias, sustentabilidad.

Key words: River floods, territorial planning, risk, strategies, sustainability.

1. Introducción

Uno de los fenómenos recurrentes y que afecta a población pobre y rural en los alrededores de la zona Metropolitana de Santiago de Chile, son las inundaciones en la cuenca del Puangue. El estudio nace por una necesidad de las autoridades locales del municipio de María Pinto que no contaban con las herramientas técnicas para justificar la regulación del crecimiento de los asentamientos en este sector. El contar con esta herramienta para la ordenación del territorio de manera fundamentada fue primordial para que tanto las autoridades como la comunidad local participaran en las consultas y dieran respuestas a las observaciones del plan regulador intercomunal.

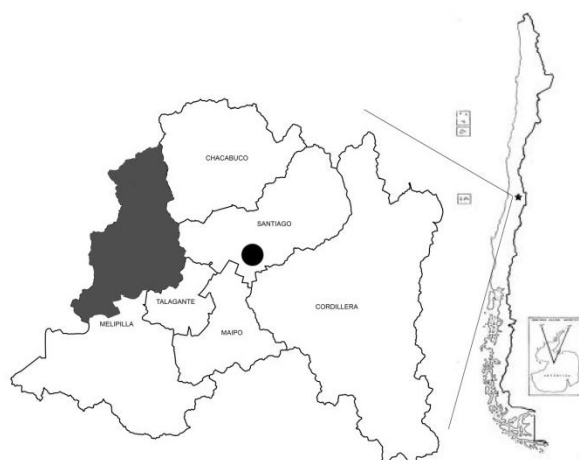


Figura 31: Ubicación de la cuenca del Puangue en la Región Metropolitana de Santiago de Chile.

En la década de los sesenta Tricart (1960) planteaba que para los futuros estudios de inundaciones se debía de comparar situaciones geomorfológicas y datos hidrológicos, ya que en ese momento los estudios no contemplaban aquellas distinciones morfodinámicas asociadas al régimen de la escorrentía, siendo necesaria una visión más integrada del fenómeno. En este trabajo se realiza un estudio integral del

fenómeno de las crecidas fluviales de la cuenca del Puangue en el Municipio de María Pinto en Chile.

Para el análisis de las amenazas se estudian las consideraciones climáticas e hidrológicas, y se aplican fórmulas hidromorfométricas para el estudio de las cuencas de drenaje (Bruniard, 1992; Ferrando, 1994), el cálculo de probabilidades (Aparicio, 1999) y la variabilidad de las precipitaciones (Ihl, 1991; Fernández, 1995)

Para la espacialización del área de influencia, se estudian las formas derivadas del modelado fluvial. El análisis toma como base los trabajos de Schumm (1977), Reineck y Singh (1980), Christofolletti (1980) y Miall (1996).

Se realiza el estudio y análisis del riesgo utilizando los trabajos de Wilches-Chaux (1989), Gray de Cerdán (1998), Cardona (2001) y Chardon (2002).

En lo que respecta a la planificación de áreas inundadas en el mundo, se toman como ejemplos los trabajos desarrollados por Loe y Wojtanowsky (2001) y Brierley et al.

(2002) en los que se han aplicado conceptos básicos de geomorfología aplicados a la administración y manejo de riberas de cursos fluviales en Canadá y Australia, respectivamente.

En cuanto al desarrollo de trabajos integrados, los aportes de Aguiló et al. (1992) y Gómez Orea (1994) constituyen metodologías básicas para la planificación del territorio en este estudio, a esto se le une lo planteado por De Pedraza (1996) quien propone en forma explícita aspectos fundamentales que se deben de considerar para el análisis de áreas de inundación.

2. Materiales y Métodos

Se analiza el funcionamiento del proceso de crecida, a través de la identificación y análisis de las variables que influyen en su desencadenamiento: la climatología, la hidrología y la hidrometeorología, a escala 1:50.000 y con base en los trabajos de Ihl (1991), Ferrando (1994), Fernández (1995), Aparicio (1999) e Inbar (2000).

La delimitación y zonificación del alcance territorial de la crecida fluvial se realiza a través de la identificación de la extensión de la sección transversal de las terrazas fluviales con base en las observaciones hechas por Araya-Vergara (1965) para los lechos fluviales de la Cordillera de la Costa de Chile Central. Conjuntamente se adicionó el análisis de los estilos fluviales, que incluye la aplicación de la noción de continuum (Schumm, 1977 y Miall, 1996). Luego del trabajo de gabinete se realizó el trabajo de campo en donde fue fundamental la participación de la comunidad local, ya que ellos ayudaron a realizar una delimitación más precisa del área inundable aportando datos y observaciones, así como también antecedentes como fotografías y filmación de videos con respecto a las crecidas que en forma recurrente los afecta.

Ya definidas las terrazas fluviales se superpuso a la cartografía los mapas con datos de distribución de población (localidades), pobreza, crecimiento poblacional, accesibilidad y uso de suelo, definiéndose las áreas de riesgo a las inundaciones.

Luego el estudio es sociabilizado con las autoridades municipales y los habitantes, llegando a un consenso con respecto a la necesidad de incluir los resultados como insumo para el estudio del plan regulador intercomunal Melipilla-Talagante, Buin y Paine promovido por la Secretaría Ministerial Metropolitana de Vivienda y Urbanismo del gobierno de Chile.

3. Resultados

El área de estudio se caracteriza por presentar condiciones de semiaridez, atenuadas por la influencia costera. Las sumatorias anuales de las precipitaciones como promedio no sobrepasan los 400 mm. Sin embargo, destacan años lluviosos en que las

precipitaciones pueden sobrepasar los 650 mm como lo fueron los años 1987, 1997 y 2002, que fueron también años de crecidas fluviales.

Al interior de la cuenca se aprecia que existe a nivel local una distribución desigual de las precipitaciones. Esto se acentúa a nivel de cuenca si se comparan los registros de la estación Colliguay ubicada aguas arriba del Estero Puangue, en la que presentan con mayor incidencia las lluvias de carácter orográfico, y también se refleja en la duración de los frentes de precipitaciones.

El análisis de las características hidromorfométricas de la cuenca permitió identificar que las condiciones que presenta aguas arriba el Estero Puangue, como son el factor de forma (compacidad), las pendientes de las microcuencas tributarias y los talwegs, desencadenan concentraciones de flujo casi instantáneo en este sector de la cuenca. Esto está corroborado por los registros de caudales que presenta esta sección y se traduce en un gran volumen de flujo concentrado aguas abajo.

El caudal mínimo con que se han producido crecidas fluviales en el Estero Puangue, es de $543 \text{ m}^3/\text{s}$ en la estación Ruta 78 (año 1997), con un período de retorno aproximado entre los 5 y 10 años, con una probabilidad anual del 13%.

Geomorfológicamente la sección del Estero Puangue en María Pinto presenta todos los elementos característicos de los ríos meandrantés, presentando de acuerdo a la clasificación de Miall (1996) dos estilos fluviales. El primero de ellos “gravel-sand meandering”, asociado a difluencias con canales abandonados (paleocanales) y la segunda sección se presenta altamente incidida sobre materiales de origen volcánico, asociados a meandros, de grano fino (“fine-grained meandering”).

Se observa además una variación en la amplitud de las diferentes terrazas fluviales. Tal cambio en su extensión es posible ligarlo a los dos estilos fluviales identificados. En la primera sección, el canal se encuentra sobre materiales de origen fluvial, mientras que en la segunda sección el canal se encuentra sobre materiales de origen volcánico, por lo que en la segunda sección el canal se profundiza y disminuye la amplitud de sus terrazas fluviales.

Se identifican de acuerdo a lo planteado por Lawrence (1999) dos áreas: aquellas inundables con período de retorno inferior a los cinco años y aquellas inundables con período de retorno entre cinco a diez años.

La caracterización social indica que el 84% de la población es rural, dedicándose a actividades económicas primarias, con un uso de suelo en la terraza inundable compuesto principalmente por cultivos anuales y ganadería en un 43%.

De esta manera y tras el análisis del medio construido y socioeconómico se identifican cinco zonas: localidades (población) con exposición total a las inundaciones con período de retorno entre cinco a diez años, localidades (población) con exposición parcial a las inundaciones con período de retorno entre cinco a diez años, zonas de inundaciones recurrentes (uso agrícola) con período de retorno entre cinco a diez años, zonas (uso agrícola) con suelos afectados además por problemas de drenaje y zonas (uso agrícola) con período de retorno inferior a los cinco años.

La sociabilización del estudio con las autoridades locales y los habitantes del lugar permitió tener las bases para demandar la regulación de este espacio a las autoridades regionales con respecto a un fenómeno que los habitantes de esta zona en riesgo viven de manera recurrente en el tiempo, pero que no estaba estudiado.

4. Conclusiones

Para entender el funcionamiento del proceso de crecidas, no fue suficiente el estudio de los registros de precipitaciones de las estaciones ubicadas a nivel local en las áreas más afectadas por las inundaciones, por lo que fue necesario investigar las estaciones pluviométricas de toda la cuenca. En este contexto se concluye que existe una diferenciación espacial de las precipitaciones, cuyo comportamiento es muy disímil por la influencia, aguas arriba de la cuenca, de las lluvias de tipo orográfico, caracterizadas por montos de precipitaciones muy superiores que las presentadas aguas abajo.

Se logra establecer que el aumento del caudal está asociado a rápidas concentraciones y velocidades que escurren aguas abajo desde la cuenca alta de recepción que, unida a las características meandranes del Estero, explican el proceso de crecida fluvial en el sector; con el estudio de la morfología fluvial se logra zonificar su alcance.

El contar con el respaldo de un informe técnico permitió participar de una manera informada en las mesas de participación ciudadana del plan regulador al que fueron llamadas las autoridades locales, técnicos del municipio y los habitantes de las comunidades afectadas.

A través de la integración de todas las variables fue posible generar una base fundamentada para la ordenación del territorio y esto permitió generar estrategias con base sólida para la sustentabilidad.

En este trabajo se unieron tres elementos fundamentales: el conocimiento empírico de la gente que habita el lugar, el conocimiento científico-técnico y la gestión proveniente de las autoridades locales para que el estudio se realizara y se aplicara en las herramientas de ordenamiento territorial con las que cuenta el municipio en las diferentes escalas territoriales de planificación.

5. Referencias

Aguiló M., M.P. Aramburu, R. M. Carrasco et al. 1992. Guía para la elaboración de estudios del medio físico. MOPT, Madrid, 809 pp.

Aparicio, F. 1999. Fundamentos de hidrología de superficie. México, Limusa, Noriega, 303 pp.

Araya-Vergara, J. 1965. Investigaciones morfológicas y cartográficas en lechos fluviales de la Cordillera de la Costa (Chile Central – Hoya de Huenchullami). Informaciones Geográficas de Chile, 61-80.

Brierley , G., Fryirs K., Outhet D. y Massey C. 2002. Application of the river styles frameworks as a basin for river management in the New South Wales, Australia. Applied Geography 22, 91-122.

- Bruniard, E. 1992. Procesos y tipos de escurrimiento superficial. Editorial Ceyne, Argentina, 124 pp.
- Cardona, O. 2001. La necesidad de repensar de manera Holística los conceptos de Vulnerabilidad y Riesgo, una crítica y una revisión necesaria para la gestión. Centro de Estudios sobre Desastres y Riesgos CEDERI Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia y Red de Estudios en Prevención de Desastres en América Latina y Ambiente, 18 pp.
- Chardon, A. 2002. Un enfoque geográfico de la vulnerabilidad en zonas urbanas expuestas a amenazas naturales; el ejemplo andino de Manizales, Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Manizales, 173 pp.
- Christofolletti, A. 1980. Geomorfología. Edgar Blücher , Sao Paulo, 313 pp.
- De Pedraza Gilsanz, J. 1996. Geomorfología: Principios Métodos y Aplicaciones. Editorial Rueda, Madrid, 414 pp.
- Fernández, F. 1995. Manual de climatología aplicada. Clima, medio ambiente y planificación. Serie Espacios y Sociedades, Editorial Síntesis, Madrid, 285 pp.
- Ferrando, F. 1994. Métodos hidromorfométricos para determinar la erosividad en cuencas hidrográficas. Ingeniería hidráulica en México IX (3), 5-14.
- Gómez Orea, D. 1994. Ordenación del territorio, una aproximación desde el medio físico, Ed. ITGE-Editorial Agrícola Española, S.A, Madrid. 238 pp
- Gray de Cerdán, N. 1998. Evaluación y reducción de la vulnerabilidad; un enfoque indispensable para la gestión territorial. Estudios Geográficos LVIV (230), 61-73.
- Ihl, M. 1991. Cambios climáticos y patrones locales de los climas del norte chico usando imágenes NOAA/ AVHRR. Tesis de Magíster en Geografía, Universidad de Chile, 227 pp.

Inbar, M. 2000. Episodes of flash floods and Boulder transport in the Upper Jordan River. The hydrology-Geomorphology Interface: Rainfall, Floods, Sedimentation, Land use. Proceedings of the Jerusalem Conference, IAHS Publ., 261 pp.

Lawrence, L. 1999. Environmental Geology. Prentice Hall. Michigan, 511 pp.

Löe, R., D. y Wojtanowsky. 2001. Associated benefits and cost of the Canadian flood damage reduction program. Applied Geography 21, 1-21.

Miall, A. 1996. The Geology of fluvial deposits: sedimentary facies, basin analysis and petroleum geology. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg. New York, 582 pp.

Reineck H.E y Singh I.E. 1980. Depositional sedimentary environments. Springer, Berlin Heidelberg New York, 549 pp.

Schumm , A. 1977. The fluvial system. John Wiley & Sons, New York, 338 pp.

Tricart, J. 1960. Los tipos de lechos fluviales. Revista geográfica Universidad de Los Andes 2 (5-6), 7-19.

Wilches-Chaux, G. 1989. Desastres, ecologismo y formación profesional: herramientas para la crisis. Servicio nacional de Aprendizaje, Popayán, 414 pp.

3.2.2 Aplicación del modelo base y el índice de riesgo a la desertificación.

3.2.2.1 Aplicación: Cuenca del Puangue.

1) Aplicación de la metodología base.

La primera aproximación se hace utilizando tal cual el modelo de áreas sensibles a la desertificación planteada por Kosmas et al. (1999).

Subíndice de vegetación: La vegetación de la cuenca se presenta según la aplicación de este modelo con una alta calidad, esto se debe principalmente a que gran parte de la superficie de la cuenca corresponde a la cuenca alta de recepción y al cordón montañoso, donde la vegetación se encuentra bien conservada (78%), mientras que la vegetación de baja calidad se asocia a la superficie de cultivos intensivos en la parte media y baja de la cuenca (22%). Lo anterior es relevante, porque esta zona en los últimos años muestra una gran intervención ya que ha cambiado la vegetación natural por cultivos intensivos (Figura 33).

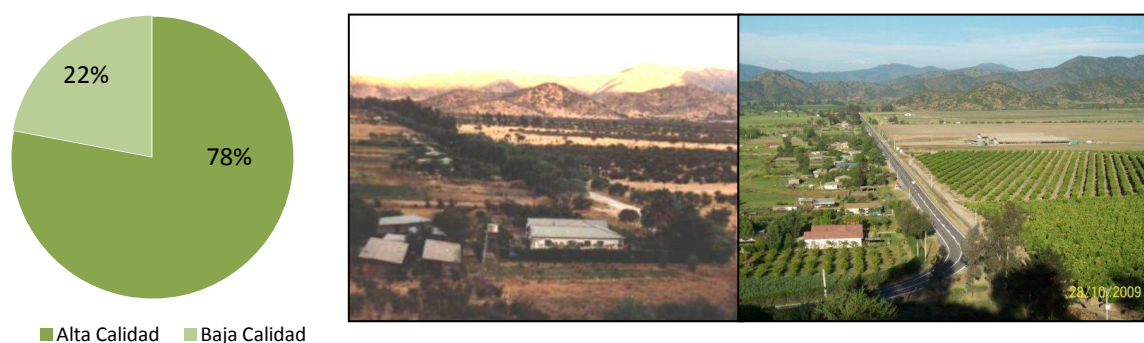


Figura 32: Cambio de uso de suelo y disminución de la calidad de la vegetación por tala de la vegetación nativa. Se muestra una foto de los años 80 y una fotografía del año 2009 del mismo lugar.

Subíndice suelos

Los resultados obtenidos reflejan que un 67% de los 1841 kilómetros de la cuenca, poseen una muy baja calidad, y corresponden principalmente a superficies de laderas de cerros del cordón montañoso, en donde los suelos se presentan escasamente

desarrollados (Figura 34). Los suelos de moderada calidad corresponden al 21 % y se ubican principalmente aguas abajo de la cuenca en donde el valle se angosta, presentándose principalmente en posición de terrazas de cineritas y glacís coluviales; la primera tiene su origen en episodios de depositación volcánica, lo que la hace poseer restricciones de drenaje por la presencia de duripan a unos 50 centímetros de profundidad. Los suelos en posición de glacís coluviales tienen su origen en la termoclastía, por lo que son suelos con restricciones por su pedregosidad, inclinación y dificultades de drenaje. Los suelos de alta calidad se encuentran ubicados principalmente en el fondo de valle correspondiente a las terrazas fluviales del río, son suelos profundos, principalmente francos, planos y de buen drenaje, corresponden al 12% de los suelos equivalentes a aproximadamente 218 kilómetros cuadrados.

Subíndice clima

Este subíndice se basa principalmente en tres indicadores, precipitaciones, índice de aridez y exposición norte sur. El índice desde el punto de vista espacial está altamente definido por la exposición de las laderas, en donde además a los terrenos planos se les ha dado también un indicador semejante al de exposición norte, debido al estrés hídrico al que está sometido, de esta forma se tiene que gran parte del área en estudio tiene una baja calidad climática, mientras que solamente un 33% posee un índice moderado. Por lo que la ubicación y orientación de la cuenca juega un papel fundamental a la hora de evaluar su calidad climática para definir las áreas sensibles a la desertificación.

Subíndice Gestión

La calidad de gestión se evalúa básicamente por dos indicadores: uso actual de suelo y la presencia de políticas de ordenamiento territorial en la zona. La cuenca en este contexto posee un instrumento de ordenamiento como lo es el Plan regulador intercomunal Melipilla - Talagante que regula los usos de suelo a escala de cuenca hidrográfica, lo que ha hecho que el indicador de gestión otorgue como resultado un índice de moderado a alto, por lo que el 60% del territorio posee buena gestión y un 40 % moderada, este último producto del uso agrícola del área.

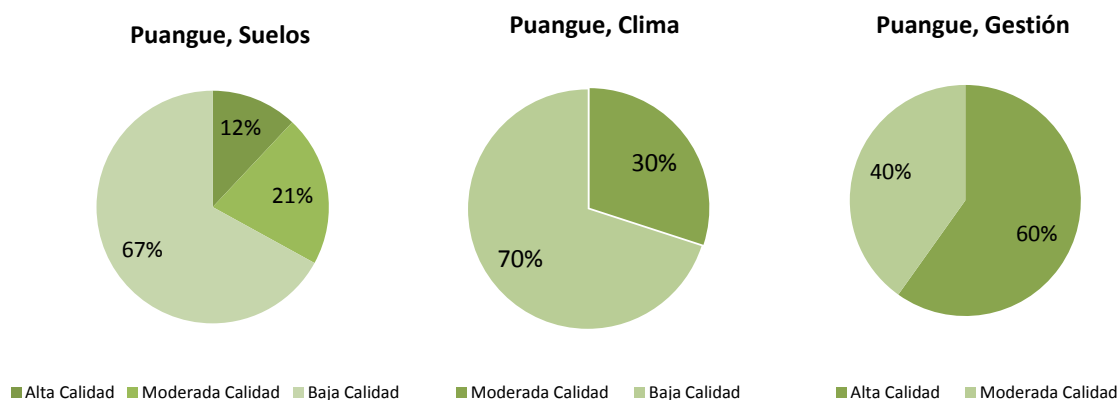


Figura 33: Superficies según diferentes tipos de calidad según la aplicación de la metodología de sensibilidad.

Áreas ambientalmente sensibles a la desertificación

Las áreas ambientalmente sensibles a la desertificación se muestran en la Figura 35 para el Puangue y se caracterizan de la siguiente manera:

Potencial: Las zonas potenciales se encuentran ubicadas en pequeñas áreas de piedemonte del sector cordillerano constituyendo en ocasiones una especie de transición hacia la zona montañosa que presenta sensibilidad crítica C3. Principalmente posee suelos de alta calidad, en suelos con uso vegetación nativa, matorral, matorral arborescente y matorral de suculentas.

Frágil F1: Se ubican en posición muy similar al área potencial, en suelos de moderada calidad con restricciones principalmente de drenaje y pendientes, en suelos con uso vegetación nativa, matorral, matorral arborescente y matorral de suculentas.

Frágil F2: Las zonas con fragilidad F2, corresponden a áreas con vegetación nativa o matorral con baja calidad climática dado principalmente por su exposición norte con suelos de alta calidad, predominantemente.

Frágil F3: Corresponde principalmente a matorral y plantación de bosque con baja calidad climática y moderada calidad de suelo.

Crítica C1: Corresponde a terrenos agrícolas con buen clima y alta calidad en sus suelos.

Crítica C2: Es posible distinguir dos zonas que presentan este índice, el sector montañoso y terrenos agrícolas. En el primero se presenta en superficies de bosque

nativo con baja calidad climática y de suelos así como también en matorral con alta calidad climática y baja calidad climática principalmente por restricciones de pendientes. En terrenos agrícolas, se presenta en zonas con suelos principalmente de moderada a alta calidad y de baja calidad climática.

Crítica C3: Corresponde a áreas con uso urbano, suelos desnudos y terrenos agrícolas con baja calidad climática, y baja calidad en sus suelos. A este tipo también corresponde a matorral de exposición norte en suelos escasamente desarrollados.

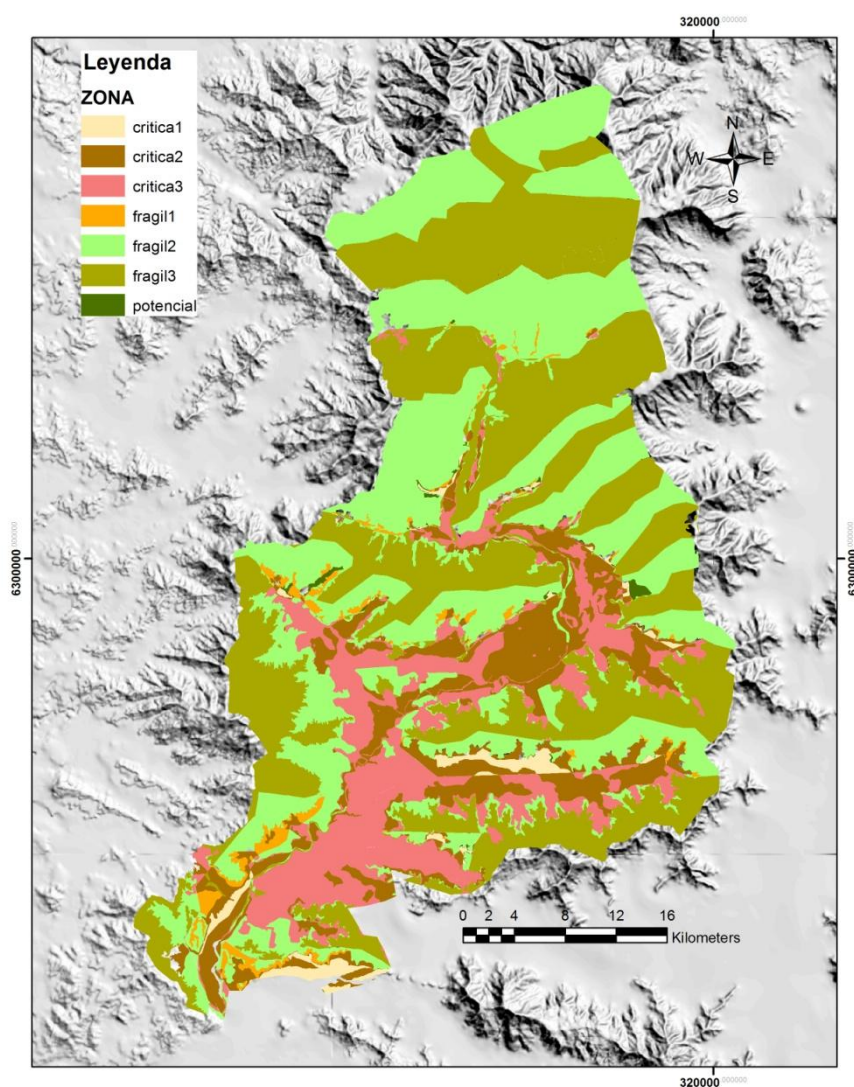


Figura 34: Áreas ambientalmente sensibles a la desertificación en el Puangue.

2) Riesgo a la desertificación en la Cuenca del Puangue.

El Contexto

- El uso de suelo agrícola en el Puangue

La actividad productiva en la cuenca del Puangue se ha intensificado debido a la dinámica y al modelo agroexportador instalado en los últimos años; y a pesar de los procesos de urbanización que está sufriendo la Región Metropolitana, la producción agrícola en la cuenca del Puangue se ha incrementado impactando al recurso hídrico y suelo.

Lo anterior es señalado en un estudio de la ODEPA (2012) donde menciona que las zonas de cultivo que han sido utilizadas para uso urbano han migrado hacia aquellas más alejadas de los centros que presionan por expansiones urbanas, esto explicaría por ejemplo, por qué la superficie de la vid no ha disminuido en los últimos años en la región. La Figura 36 muestra el aumento de hectáreas en la Región Metropolitana para la producción de vides, ya que para el período 2000 al 2007/2008 se extendió en 1702.8 hectáreas. Este es uno de los usos de suelo agrícola en la cuenca del Puangue.

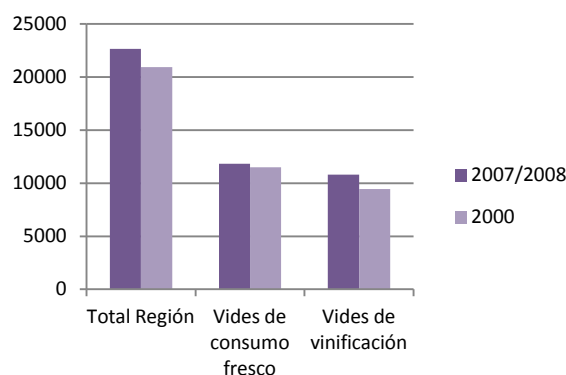


Figura 35: Superficie en hectáreas para el cultivo de la vid. Fuente: INE, 2009.

La Región Metropolitana de Santiago posee seis provincias y el área de estudio se encuentra en lo que comprende la Provincia de Melipilla. Los datos con respecto al destino silvoagropecuario en cultivos anuales y permanentes indican que éste ha

aumentado en 6009 ha en el período intercensal (1997-2007) en la provincia, mientras que otras provincias como la de Santiago ha disminuido en 1858 ha la superficie de cultivos anuales y permanentes (Tabla 27).

Tabla 27: Superficie en ha para cultivos anuales y permanentes en las provincias de la Región Metropolitana.

	Superficie (ha)		% cult. anuales y perman.	
	1997	2007	1997	2007
Santiago	5904	4046	5	3
Chacabuco	13625	13056	6	7
Cordillera	5184	5455	1	1
Maipo	33512	31095	34	35
Melipilla	37381	43390	10	12
Talagante	18452	17500	37	39

Fuente : ODEPA, 2012

El empleo agrícola

Los cambios en el uso de suelo a cultivos anuales y permanentes en la zona ha tenido repercusiones positivas en el aumento del empleo agrícola en la provincia de Melipilla. Es necesario mencionar que esta actividad no requiere un mayor grado de calificación, por lo que la oferta de empleo se concentra para satisfacer la demanda de la mano de obra no calificada. La Tabla 28, muestra una variación anual positiva aumentando el empleo agrícola en 3935 nuevos empleos.

Tabla 28: Empleo en la Región Metropolitana.

	Personal (N)	UTE*	1997	2007	Variación empleo 1997/2007
	1997	2007			
Santiago	4.816	2900	0.04	0.02	-0.4
Chacabuco	8.607	11420	0.04	0.06	0.33
Cordillera	3.669	3543	0.01	0.01	-0.03
Maipo	20.486	18159	0.21	0.21	-0.11
Melipilla	19.835	23770	0.05	0.07	0.2
Talagante	10.434	12820	0.21	0.28	1.23

Fuente: Odepa, 2012

* Personal de las explotaciones agropecuarias, para el caso del censo de 1997 y mano de obra en Unidad de Trabajador Equivalente (UTE), para el caso del censo de 2007. Esta última variable fue construida por Qualitas AgroConsultores para el Instituto de Desarrollo Agropecuario – INDAP – con el propósito de caracterizar la pequeña agricultura familiar y otros fines

El agua en el territorio

Tesser (2013), menciona que la cantidad de agua consumida por los sectores urbanos y agrícolas en la Región Metropolitana son notoriamente diferentes (Tabla 29). El mayor consumo de agua es el realizado por las actividades agrícolas en la región.

Tabla 29: Consumo de agua (m³/s).

Año	Usos del agua (m ³ /s)				
	Energía	Agrícola	Doméstico	Industrial	Minero
2005	129	82.4	18.5	10.4	0.5
2030	129	80.5	24.8	27.6	2

Fuente: Tesser, 2013

A pesar de que se ha invertido en innovación tecnológica para riego con el empleo de nuevas formas de manejo del agua, la actividad agrícola continúa siendo la principal consumidora de agua en la región. Como muestra la Tabla 30, el riego gravitacional que posee grandes pérdidas de agua por evaporación ha disminuido y ha aumentado el uso de microriego que es más eficiente y éste casi se cuatricula para el período 1997-2007.

Tabla 30: Superficie regada según tipo de riego.

Censo Agropecuario	Nivel	Total superficie regada	Gravitacional	Mecánico mayor	Micro riego
1997/1998	Chile	1.058.355,9	960.840,0	30.522,5	62.153,3
	Región Metropolitana	144.844,5	127.613,7	5.983,9	11.246,9
2006/2007	Chile	1.093.812,4	789.839,9	56.498,3	247.474,2
	Región Metropolitana	136.732,3	90.890,1	3.799,8	42.042,4

Fuente: ODEPA, 2012

En el año 2008 la Dirección General de Aguas mediante el Informe Técnico N°28 (DGA, 2008) declaró los subsectores hidrológicos Puangue Alto y Medio como área de restricción y recomienda para este sector “no avanzar en la explotación previsible de los derechos de aprovechamiento más allá del caudal equivalente a la explotación neta

sustentable en cada sector del acuífero”. Lo anterior se hace en base a estudios que demuestran que existe riesgo de grave disminución de un determinado acuífero, correspondiente a una medida de carácter preventivo y no necesariamente de un deterioro real en la actualidad.

El Riesgo a la desertificación

Con base en los antecedentes no es extraño que al aplicar el modelo la cuenca presente cerca del 38.1% (68674.43 ha) de la superficie con alto riesgo a la desertificación, mientras que otro 38.04% (68563.65) tenga riesgo medio (Figura 37). La zona media-alta de la cuenca, que corresponde al sector de Curacaví es la que presenta mayor superficie con alto riesgo; a medida de que el Puangue se dirige aguas abajo comienza a aparecer predominantemente zonas con riesgo medio.

Existen dos áreas que se presentan mejor conservadas, la cuenca alta de recepción donde nace el Puangue (que cuenta con vegetación nativa muy bien conservada) y aguas abajo del Puangue, con algunos relictos de vegetación nativa bien conservada en rinconadas en el sector de Mallarauco.

Siguiendo la tendencia de la región, los cultivos agrícolas han ido reemplazando a la vegetación nativa, dando paso a una agricultura altamente intensiva y tecnificada demandante de agua en una zona semiárida.

Los indicadores de pobreza son más bajos que los presentados a nivel regional. Por otro lado los años de escolaridad son más bajos que el promedio regional, lo que es preocupante, ya que si la actividad agrícola deja de ser una importante fuente de empleo en la zona, las personas no tendrían la capacitación suficiente para desarrollar otra actividad, por lo que es primordial y urgente tomar medidas conducentes a preparar mayormente a la población y a desarrollar la zona con miras a prevenir el avance de la desertificación.

En la siguiente tabla se muestran los datos sociales oficiales de la Biblioteca del Congreso Nacional de Chile (2013) para los municipios en estudio:

Tabla 31: Datos de la Encuesta de Caracterización Socioeconómica 2011.

Biblioteca del Congreso Nacional de Chile				
	Curacaví	María Pinto	Melipilla	Región
Pobreza	11.8	10.8	17.4	11.46
Promedio de escolaridad	9.84	8.46	10.36	11.24

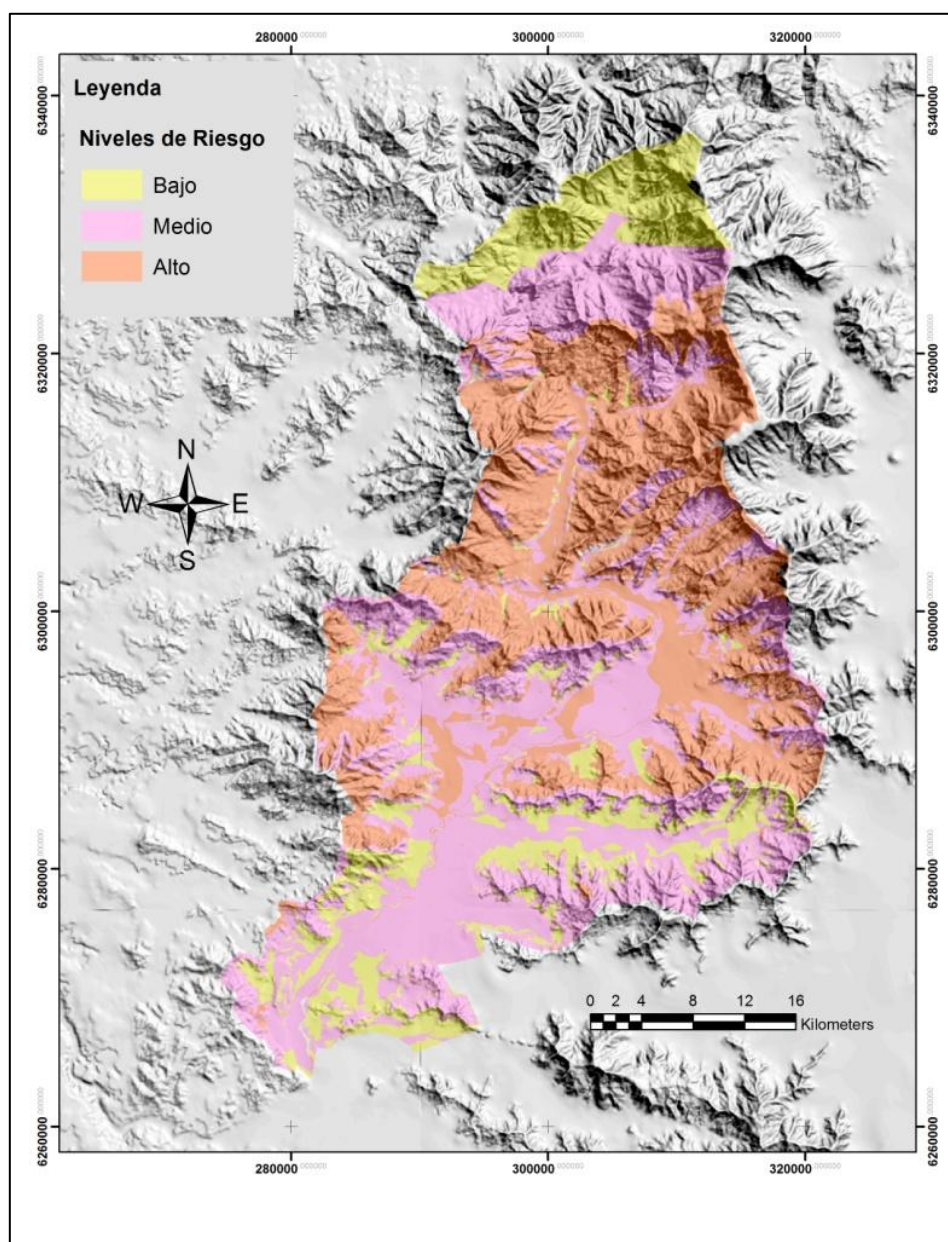


Figura 36: Cartografía del riesgo a la desertificación en la cuenca del Puangue.

Existen autores que hablan de la “desertificación heredada” sin embargo, en este caso la mayor intervención en el territorio se ha realizado en los últimos años por lo que tenemos que prevenir de que seamos las actuales generaciones las que heredemos la desertificación a las generaciones venideras.

3.2.2.2 Aplicación: Valle de Maneadero.

1) Aplicación de la metodología base.

La primera aproximación se hace utilizando tal cual el modelo de áreas sensibles a la desertificación planteada por Kosmas et al. (1999), lo que arrojó la cartografía de la Figura 39.

Subíndice de vegetación: La vegetación característica del área en estudio es mediterránea, con vegetación adaptada a condiciones de sequía. El matorral xerófilo corresponde principalmente al chaparral (2761 ha), ubicado principalmente en las salidas de los arroyos. A medida que nos acercamos al mar desde los arroyos aparecen los pastizales halófilos (515.3 ha) con adaptabilidad a suelos salinos y la vegetación hidrófila a las zonas inundadas (tular, 297.3 ha). El resto del área de estudio es agrícola (Figura 38).

Los resultados arrojan que el 61% de la vegetación de la zona es de moderada a baja calidad, esto debido a que gran parte de la vegetación nativa de la zona ha sido desplazada por los cultivos agrícolas.

Subíndice suelos: Con respecto a sus suelos posee un 7% de los suelos de muy baja calidad que corresponde a suelos costeros con alta salinidad por la influencia del mar y más del 90% de los suelos son de moderada calidad, siendo suelos poco profundos y presentan problemas de drenaje. Por la escala de la cartografía disponible no se lograron identificar procesos edáficos más finos.

Subíndice clima: Resultó en su totalidad de baja calidad, debido a que gran parte de la superficie está expuesta todo el día a la radiación solar, mientras que una escasa superficie es de umbría, la zona posee un alto estrés hídrico con una precipitación media de 253.8 milímetros anuales, que se concentran principalmente entre los meses de noviembre a marzo.

Subíndice Gestión según el índice, la zona tiene un 46% de su superficie con una baja calidad de gestión, esto se debe a la alta intensidad en el uso del suelo y a la falta de regulación y conocimiento de las características naturales de sus suelos, cabe mencionar que no se encontraron estudios edafológicos a escala 1:10.000 o al 25.000 por lo que la zona por las características observadas estaría sobreutilizada.

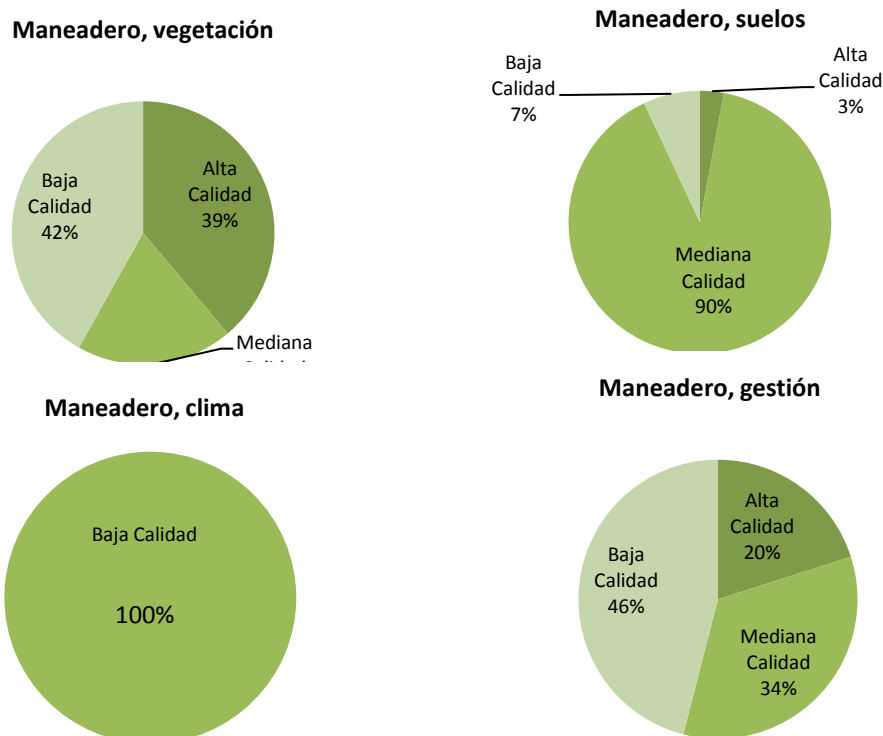


Figura 37: Superficies según diferentes tipos de calidad según la aplicación de la metodología de sensibilidad.

Áreas ambientalmente sensibles a la desertificación

A través de este modelo solo ha sido posible distinguir dos tipos de zonas catalogadas según el modelo como críticas (Figura 39):

Crítica C2: Se identifica este tipo de zona en el Arroyo San Carlos, que aunque tiene una situación crítica no es la más crítica dentro de la zona. Corresponde a un sector

que posee matorral xerófilo como es el Chaparral y que corresponde a aproximadamente 284 hectáreas.

Crítica C3: Corresponde al resto del área en estudio.

Existe una zona que se ha denominada de “no aplica” y que es el área de uso urbano.

Como se ve a esta escala y con estos datos, solo es posible definir que qué tan crítica está un área, y conocer a gran escala ciertas particularidades en la localidad.

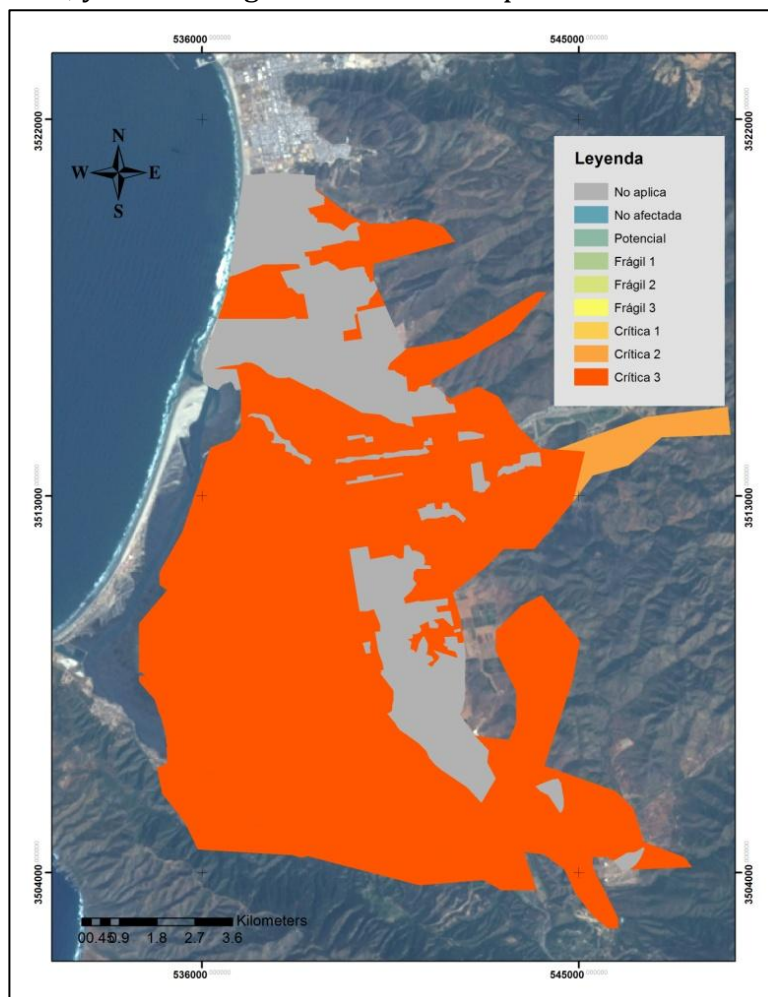


Figura 38: Sensibilidad ambiental a la desertificación en Maneadero.

2) Riesgo a la desertificación en Maneadero

El Contexto

- El uso de suelo agrícola en Maneadero.

Según Rosete et al. (2013), los principales procesos que desencadenan el cambio de uso del suelo en la Península de Baja California son el crecimiento de las áreas urbanas, la inmigración de población a la zona fronteriza, la actividad industrial (principalmente maquiladoras) y las actividades turísticas. En contraste, Maneadero presenta un incremento positivo en el uso de suelo agrícola para el área de estudio. La tasa de cambio durante el período (1985-2010) fue del 2.3% en promedio a uso agrícola (Elaboración propia con base en fotografías aéreas de 1985 y 2010).

En este contexto y como muestra la Tabla 32, Maneadero desde 1985 a 1998 había experimentado tasas de cambio positivo, sin embargo en el período 2005 al 2010 experimentó una tasa de crecimiento negativo. Lo anterior se puede explicar porque actualmente este uso está compitiendo con el uso urbano, de todas formas, el uso de suelo agrícola es el predominante.

Tabla 32: Tasas de cambio de uso de suelo para Maneadero.

TASA DE CAMBIO DE USO A AGRÍCOLA

tasa 85/93	tasa 93/98	tasa 98/05	tasa 05/10	Promedio de 20 años
9.42	1.48	0.34	-1.96	2.32

Fuente: Elaboración propia.

Con respecto al tipo de superficie sembrada en el Valle de Maneadero para el año 2012 la mayor superficie es de cielo abierto mientras que le siguen en superficie los invernaderos, pero muy por debajo (Tabla 33).

Tabla 33: Superficie sembrada en el Valle de Maneadero, Año agrícola 2012. Por ciclo y modalidad de cultivo.

CICLO/MODALIDAD	CIELO ABIERTO	INVERNADERO	MALLASOMBRA	TOTAL	%
O-I Riego	670.00	14.50	0.00	684.50	13.62
O-I Temporal	2,372.00	0.00	0.00	2,372.00	47.19
P-V Riego	1,357.34	142.98	56.44	1556.76	30.97
P-V Temporal	1.65	0.00	0.00	1.65	0.03
NN Riego	411.83	0	0	411.83	8.19
TOTAL RIEGO + TEMP.	4,812.82	157.48	56.44	5,026.74	100.00

Fuente: Para el ciclo Otoño- Invierno la fuente es SAGARPA, para el ciclo Primavera-Verano y Perennes fue mediante recorrido de campo, Secretaría de Fomento Agropecuario – OEIDRUSBC en Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable, Baja California.

Dinámica de Población

Ensenada es una ciudad que posee una alta concentración de población, pero en pocas localidades principalmente en la zona conurbana de El Sauzal - Ensenada - Chapultepec - Rodolfo Sánchez Taboada (Maneadero), la cual absorbe casi tres cuartas partes de la población total del municipio (Gobierno del Estado de Baja California, 2014).

De acuerdo con los datos proporcionados por INEGI (2010), la ciudad de Ensenada ha crecido sostenidamente en los últimos años y las localidades periurbanas como Maneadero (que para el 2010 posee una población de 22957 personas), continuará la tendencia demográfica presentada por la ciudad (Figura 40).

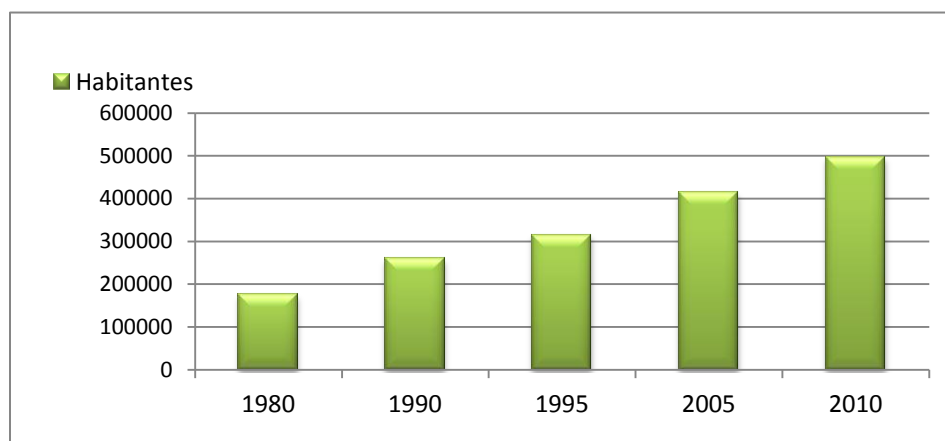


Figura 39: Población en Ensenada (INEGI, 2010).

Riesgo a la desertificación en Maneadero

Las áreas con bajo riesgo se asocian principalmente a las salidas de los arroyos (quebradas intermitentes) que bajan desde los sectores montañosos, éstas áreas poseen vegetación nativa compuesta por chaparral. Otra área que presenta este nivel es la zona adyacente al mar compuesta por tular, que es un tipo de vegetación que habita sectores de humedales (Figura 41), la superficie de territorio que comprende este tipo de área es de 2728 hectáreas.

La mayor superficie del área en estudio comprende la zona de nivel medio de riesgo y que comprende casi toda el área agrícola (96%), lo anterior corresponde a 9809 hectáreas, como se veía en la Tabla 31, corresponde principalmente a cultivos intensivos de cielo abierto.

El área que presenta el mayor nivel de riesgo se encuentra en algunos retazos agrícolas en la zona intermedia entre el área adyacente al mar y el piedmont, esta zona se está degradando producto de la baja calidad del agua y la alta intervención agrícola (Figura 41). Hay que evitar que la zona de alto riesgo se expanda al resto del área, para que lo anterior ocurra hay que atacar las causas: una mayor fiscalización y conocimiento de la extracción de agua de los pozos, favorecer los sectores de recarga por agua de lluvia y una mayor conciencia por parte de la población para mejorar el manejo y el uso eficiente del agua se considera que son fundamentales para detener su avance.

La degradación de la tierra va a ocasionar un impacto negativo sobre el empleo y la productividad en la zona, si no se llevan a cabo medidas inmediatas y en el corto plazo para solucionar este problema. Lo anterior es relevante, ya que la gente que habita esta zona posee un alto indicador de pobreza y baja escolaridad que los hace más vulnerables a enfrentar una crisis como lo sería la falta de empleo (Tabla 34).

Tabla 34: Porcentaje de pobreza patrimonial año 2008 y Promedio de años de escolaridad

	Maneadero %	Ensenada %
Pobreza	52.2	47.9
Promedio de escolaridad	8.13	10.14

Fuente: INEGI, 2010.

Instituto Municipal de Investigación y Planeación de Ensenada, 2009.

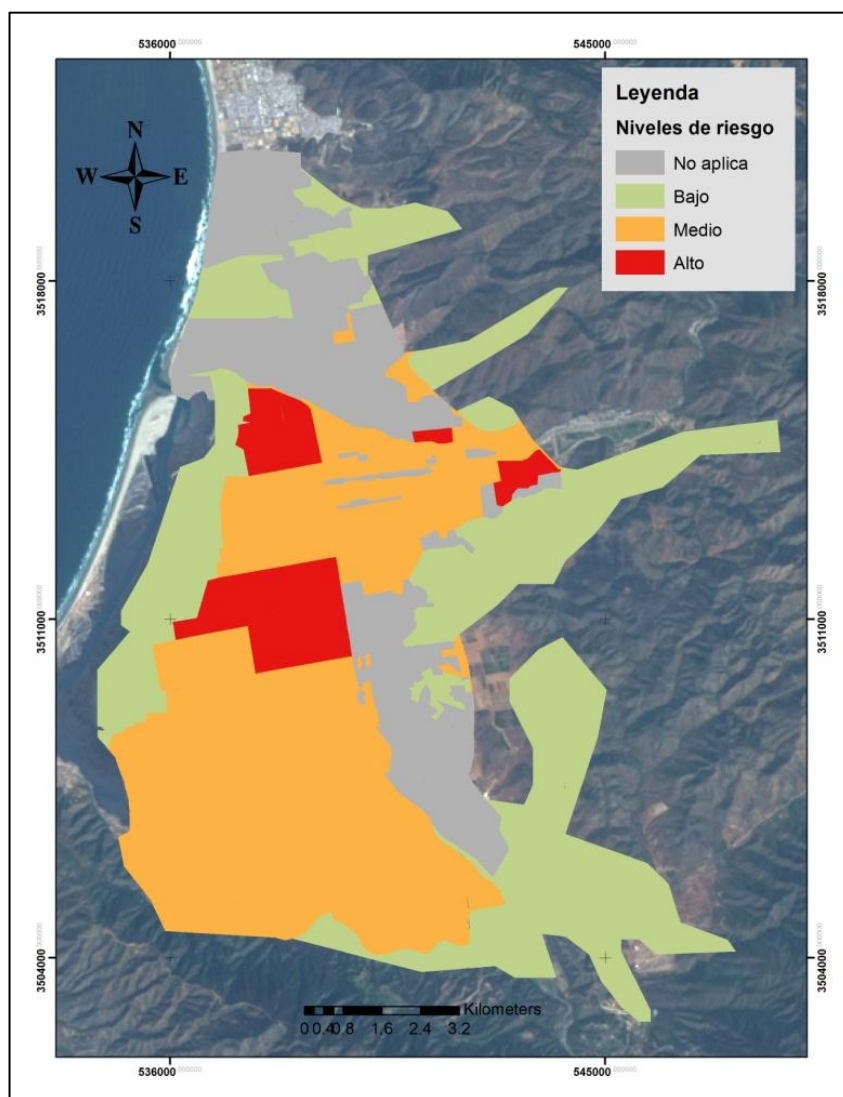


Figura 40: Niveles de riesgo a la desertificación en Maneadero.

3.2.2.3 Las causas comunes de la desertificación en ambas áreas de estudio.

Seleccionamos el trabajo de Oladipo (1993) quien plantea un esquema para identificar las causas de la desertificación en un estudio para comprender la sequía y desertificación en Nigeria. El esquema que estos autores presentan fue tomado como ejemplo para la identificación de las causas de la degradación de suelo en el Puangue (Chile) y Maneadero (México) que son comunes.

De esta forma se identifican las actividades que conducen a procesos de degradación en ambas áreas en estudio, entre estas características están: que son zonas irrigadas bajo riesgo de salinidad, el uso antieconómico del agua subterránea, la sobreexplotación agrícola y el excesivo corte de matorral que lleva a la degradación de los recursos en la zona (suelo, vegetación, topografía y a una escala mayor el clima). Lo anterior genera procesos con consecuencias ecológicas como lo es la degradación de la vegetación, la erosión del suelo, la formación de dunas y el aumento de la salinidad del suelo y el agua. Esto se traducirá (si no se actúa a tiempo), en consecuencias socio-económicas que llevan a la desnutrición, a procesos migratorios, al desempleo, la inestabilidad política y enfermedades como ha ocurrido en otros lugares en el mundo como lo muestra la Figura 42 (Oladipo, 1993).

Otros territorios ya han sufrido la degradación de sus tierras por la expansión de la frontera agropecuaria. Estudios como el que presentan Saiko y Zonn (2000) en Circum-Aral, es un ejemplo de cómo los procesos de irrigación relacionados con la expansión de suelo agrícola conducen a procesos de desertificación, el autor menciona que en este caso las causas de la desertificación son principalmente antropogénicas.

También Mu'taz Al-Alawi (2008) indica en un estudio en Jordania, que la extensión de cultivos a zonas de baja precipitación para satisfacer la creciente demanda de alimentos dio lugar a la degradación de suelo de manera acelerada, en este mismo contexto alude a que el aumento de la inversión en proyectos de riego por el sector privado ha dado lugar a la irrigación intensiva en las zonas de baja precipitación, esto ***ha aumentado la presión sobre los recursos hídricos, dando lugar a la sobreexplotación de los acuíferos.***

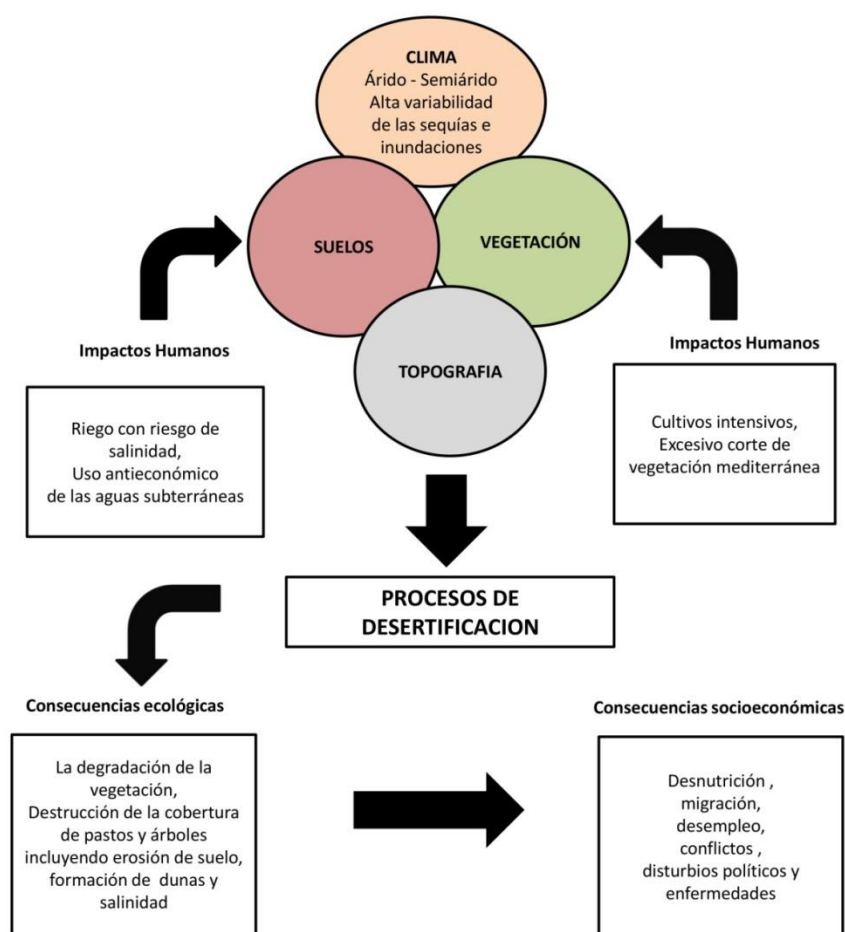


Figura 41: Modelo del proceso de desertificación (Adaptado de Oladipo, 1993).

Existen causas comunes en ambas áreas en estudio, lo que permitió identificar efectos sobre los recursos naturales que se relacionan con estas causas; lo que hizo posible identificar los indicadores que le dan sentido al modelo, en relación a aquellos que reflejen las causas, los efectos sobre los ecosistemas y sus relaciones con la vulnerabilidad de las personas que habitan estos lugares. Por lo que el modelo queda definido para una tipología aplicable en: a) tipo mediterráneo b) sobreexplotadas hidrológicamente c) con problemas de disminución de las propiedades de sus suelos d) con agricultura intensiva.

3.2.2.4 Referencias

Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. 2013. Reportes Estadísticos Distritales y Comunes.

<http://reportescomunales.bcn.cl/2013/index.php/Mar%C3%ADa Pinto>

<http://reportescomunales.bcn.cl/2013/index.php/Curacav%C3%AD>

<http://reportescomunales.bcn.cl/2013/index.php/Melipilla>

DGA.2008. Informe técnico N 128: Declaración área de restricción subsectores hidrogeológicos de aprovechamiento común de Puangue Alto, Puangue Medio, Cholqui, Popeta, Melipilla y La Higuera del acuífero de Puangue Melipilla. Ministerio de Obras Públicas, Dirección general de Aguas, Departamentos de Administración de Recursos Hídricos. <http://documentos.dga.cl/ADM4971.pdf>

INE. 2009. Catastro Vitícola. Informe Anual. Instituto Nacional de Estadística y Servicio Agrícola y Ganadero. Gobierno de Chile. http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/estadisticas_agropecuarias/2009/catastro_viticola_2007_2008_completo.pdf

INE. 2000. Catastro Vitícola. Informe Anual. Instituto Nacional de Estadística y Servicio Agrícola y Ganadero. Gobierno de Chile. http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/estadisticas_agropecuarias/pdf/junio_2010/anuarios_vitcolas/viticola_2000.pdf

INEGI. 2010. Censo de Población y Vivienda. Gobierno de México.

Instituto Municipal de Investigación y Planeación de Ensenada. 2009. Estudio para la determinación de polígonos de marginación en Ensenada, B.C.

Kosmas, C., M.,Krikby y N. Geeson. (1999). Manual on key indicator of desertification and mapping environmentally sensitive areas for desertification, European Commission.

ODEPA . 2012. Estudio de impacto de la expansión urbana sobre el sector agrícola en la Región Metropolitana de Santiago. Estudio Comparativo de las transformaciones del sector agrícola relacionadas con el avance de la urbanización. Regiones: Metropolitana, VI, VII y VIII. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias. Ministerio de Agricultura.

- Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable Baja California.
2013. Panorama General de Maneadero Baja California. Secretaría de Fomento
Agropecuario. <http://www.oedrus-bc.gob.mx>
- Saiko, T. A. y I. S. Zonn .2000. Irrigation expansion and dynamics of desertification in
the Circum-Aral region of Central Asia. *Applied Geography* 20(4): 349-367.
- Tesser C. 2013.El agua y los territorios hídricos en la Región Metropolitana de
Santiago de Chile. Casos de estudio: Tiltill, Valle de Mollarauco y San Pedro de
Melipilla. Vol. LXXIV, 274, pp. 255-285. Enero-junio 2013.3.4

3.2.3 Experimento con percepción social

1) La percepción social como estrategia para la obtención de indicadores: Estudio de caso en la cuenca del Puangue, Chile.

1. Introducción

Una de las mayores consecuencias de la falta de gestión de las áreas rurales, y la intensificación agraria en las zonas áridas y semiáridas, son los problemas de desertificación. Esta última se ha visto incrementada por la sobreexplotación de los acuíferos y el escaso o nulo monitoreo de los recursos naturales en América Latina. A la falta de datos, se suma el poco control y medición estandarizado de los datos científicos que hacen aún más complejos los estudios comparativos regionales y locales, lo que genera incertidumbre en términos de disponibilidad de datos.

Reynolds et al. (2007), plantea en el paradigma de desarrollo de zonas secas (DDP), que las investigaciones deben centrarse en los medios de vida de las poblaciones que habitan las zonas secas y en su dependencia de los ecosistemas a través del estudio de los Sistemas Humanos-Ambientales (H-A), ya que siempre se deben de incluir variables socioeconómicas y biofísicas en cualquier plan de supervisión o intervención. En este contexto, Gunderson et al. (2002), Walker et al. (2002), Olsson et al. (2003) en Davidson-Hunt et al. (2003) mencionan que las relaciones de sostenibilidad entre los seres humanos y la naturaleza dependen en parte, de la capacidad para enfrentar los cambios y de ahí a la necesidad de profundizar en estas relaciones.

De acuerdo con Reynolds op. cit. (2007), el DDP responde a las recientes tendencias de la investigación y de la política, las cuales conectan el manejo del ecosistema con las estrategias de vida humana con el fin de apoyar la creciente y rápida expansión de la población residente en estas regiones. El DDP representa una convergencia de puntos de vista y avances claves de la investigación en temas de desertificación, vulnerabilidad, alivio de la pobreza y desarrollo comunitario.

Coles et. al., 2011 menciona la necesidad de incorporar los conocimientos locales en los estudios de riesgo, ya que el conocimiento “no experto” incluye lo que se aprende

de manera informal través de una combinación de sentido común (Gramsci, 2008; Coles et. al., 2011), las interacciones sociales (Douglas, 1992; Coles et. al., 2011) y la experiencia práctica (Scott 1998; Coles et. al., 2011); por lo que existe una necesidad de combinar múltiples formas del conocimiento con el fin de resolver los problemas para gestionar eficazmente los recursos y sistemas (Robbins, 2003)

En este contexto se encuentra el constante cuestionamiento por una parte de la comunidad científica acerca de la rigurosidad científica de los estudios sociales. Temas cuestionables son por ejemplo, cómo elegir a los personajes claves para las entrevistas o si lo que dice la sociedad no son especulaciones; lo cierto es que estamos ante una realidad tan compleja, en que los modelos que se elaboran solo son una simplificación necesaria de la realidad.

A raíz de lo anterior es que se ha hecho el experimento de cambiar un indicador en el índice hidrológico en un modelo, por un indicador obtenido a través de encuestas, para ver cuánto varia el modelo al obtener el dato a través de una técnica de investigación social aplicado a un estudio de riesgo en desertificación en la Cuenca del Puangue en Chile.

2. Metodología

La metodología utilizada es la propuesta modificada planteada por Kosmas et al. (1999) para evaluar las áreas sensibles a la desertificación. Esta metodología ha sido utilizada por varios trabajos entre ellos los trabajos realizados por Basso et al. (2000), Farajzadeh y Nik Egbal (2007), Contador et al. (2009), Hadeel et al. (2010), Salvati y Bajocco (2011) y Bakr et al. (2012)

Esta metodología le asigna un peso a los indicadores, los cuales pondera a través de una fórmula logarítmica y clasifica desde valores más altos a aquellas zonas más frágiles o sensibles hasta aquellas zonas que no están afectadas; esta metodología tiene la bondad de que se puede agregar indicadores para la evaluación de las zonas de riesgo (Kosmas et al. 2003), en este caso para la construcción del índice de riesgo se construye con siete aspectos, siete subíndices y 21 indicadores (Tabla 35).

La fórmula logarítmica es la siguiente:

$$(Sc * Sg * Ss * Sv * Sh * Sse)^{1/6}$$

Se compara la cartografía de riesgo con datos medidos con métodos convencionales y la sustitución de uno de los indicadores (Nivel piezométrico) por uno obtenido a través de una encuesta de percepción social.

El indicador de percepción social se definió con base en una encuesta que se aplicó a 200 pequeños productores agrícolas que en su mayoría obtuvieron sus parcelas a partir de la reforma agraria iniciada entre 1962-1973. La muestra conforma el 10% del total existente de productores en la cuenca (Censo Agropecuario, 2007). Se entrevistó a los actores claves y se capacitó a los encuestadores, quienes aplicaron las encuestas, posteriormente se procesaron las entrevistas y se tabularon las encuestas para su análisis con el programa SPSS 10.0 para Windows.

Para efectos de trabajo de campo se dividieron las encuestas en proporción al total de los campesinos existentes en los tres municipios correspondientes (Curacaví, María Pinto, Melipilla (sector Mallarauco). El indicador está tomado con base en el 100% de encuestas por municipio. La pregunta que se les hizo fue: ¿Ha bajado el nivel del pozo que utiliza para riego? , esta pregunta se hace considerando una variable de temporalidad, ya que el perfil de los encuestados indica que son personas que han vivido de 10 a más años en la zona.

En las tablas 35, 36 y 37 se presentan los indicadores y ponderadores aplicados, así como los resultados obtenidos de la aplicación del modelo con el indicador hidrológico sustituido por nivel piezométrico obtenido por los resultados de la encuesta.

Tabla 35: Variables, indicadores, parámetros y pesos. En azul se muestra el indicador sustituido y el nuevo indicador.

Aspecto	Indicador	Parámetro	Valor	Aspecto	Indicador	Parámetro	Valor
Suelo	Textura	Descripción		Vegetación	Riesgo de Incendio	Tierra desnuda	1
Ss		(Arena, limo, arcilla)		Sv		Cultivos agrícolas anuales	1.3
		Bueno	1			Matorral y praderas	1.6
		Moderado	1.2			Matorral arborescente, matorral de suculentas, bosque nativo	2
		Poroso	1.6	Protección a la erosión		Bosque nativo, matorral arborescente, matorral de suculentas	1
	Pendientes	Muy poroso	2			Matorral y Praderas	1.3
		(%)				Cultivos agrícolas	1.6
		Muy suave a plano < 6	1			Tierra desnuda	2
		Suave 6 a 18	1.2	Resistencia a la sequía		Matorral, matorral de suculentas, Matorral arborescente, bosque nativo	1
		Empinado 18 a 35	1.5			Terrenos agrícolas	1.6
		Muy empinado > 35	2			Praderas	1.8
	Pedregosidad	Cobertura %		Cobertura		Cobertura vegetal (%)	
		Muy pedregoso > 60	1			> 40	1
		Pedregoso 20 - 60	1.3			10 a 40	1.8
		Desnudo a poco pedregoso	2			< 10	2
	Profundidad			Gestión	Intensidad en el uso de suelo	Áreas naturales	1
		Profundo > 75	1	Sg		Zonas de recreo	1.2
		Moderado 75 - 30	2			Tierras agrícolas de uso extensivo	1.5
		Somero 15 - 30	3			Tierras agrícolas de uso intensivo	1.8
		Muy somero < 15	4			Minería	2
	Drenaje	Según Drenaje				Zonas Urbanas	2
		Bien drenado	1			Grado de regulación	
		Imperfectamente drenado	1.2	Políticas		Completo: > 75% del área bajo protección	1
		Mal drenado	2			Parcial: 25 al 75% del área bajo protección	1.5
	Erosión	Con presencia de erosión	2			Incompleto: < al 25% del área bajo protección	2
		Sin erosión	1	Hidrología	Nivel Piezométrico		
Clima	Precipitación	milímetros		Sh		Superficial	1
Sc		> 650	1			Poco profundo	1.3
		280- 650	2			Medianamente profundo	1.6
		<280	4			Profundo	2
	Aridez	BGI rango				Ha bajado el nivel del pozo que utiliza para riego?	1
		<50	1			< 25% dijo que si	1.3
		50 - 75	1.1			Entre 50%-26% dijo que si	1.6
		75 - 100	1.2			Entre 75% - 51% dijo que si	2
		100 - 125	1.4			> 76 dijo si	
		125 - 150	1.8			Consumo de agua según uso de suelo	
		> 150	2			Cultivos agrícolas anuales	2
						Matorral y praderas	1.3
						Matorral arborescente, matorral de suculentas, bosque nativo	1
	Orientación	Exposición					
		SW y SE	1				
		NW y NE	2				
Socioeconómico		Promedio de escolaridad					
Sse							
		Bajo o igual al 0.5 grados porcentuales al promedio regional/municipal					1
		0.49 grados porcentuales superior o inferior a la promedio regional/municipal					1.6
		Mayor o igual a 0.5 grados porcentuales a la promedio regional/municipal					2
	Pobreza						
		Bajo o igual al 0.5 grados porcentuales al promedio regional/municipal					1
		0.49 grados porcentuales superior o inferior al promedio regional/municipal					1.6
		Mayor o igual a 0.5 grados porcentuales al promedio regional/municipal					2
	Tasa de cambio de uso de suelo						
		Bajo o igual al 0.5 grados porcentuales a la tasa regional/estatal					1
		0.49 grados porcentuales superior o inferior a la tasa regional/estatal					1.6
		Mayor o igual a 0.5 grados porcentuales a la tasa regional/estatal					2

Tabla 36: Rangos de evaluación por cada aspecto.

Variable	Clasificación	Rango	Variable	Clasificación	Rango
Vegetación	Alta Calidad	< 1.33	Gestión	Alta Calidad	<
	Mediana Calidad	$\geq 1.33 < 1.42$		Mediana Calidad	$\geq 1.25 <$
	Baja Calidad	≥ 1.42		Baja Calidad	$\geq$
Suelos	Alta Calidad	< 1.52	Erosión	Con presencia de erosión	
	Mediana Calidad	$\geq 1.52 < 1.66$		Sin erosión	
	Baja Calidad	≥ 1.66			
Clima	Alta Calidad	< 1.15	Hidrología	Baja sensibilidad hídrica	<
	Mediana Calidad	$\geq 1.15 < 1.15$		Mediana sensibilidad hídrica	$\geq 1.51 <$
	Baja Calidad	≥ 1.81		Alta sensibilidad hídrica	$\geq$
Socioeconómico	Baja Vulnerabilidad	< 1.36			
	Mediana Vulnerabilidad	$\geq 1.36 < 1.59$			
	Alta Vulnerabilidad	≥ 1.59			

Tabla 37: Rangos para la evaluación del riesgo en El Puangue.

Tipo de Riesgo	Rango índice
Bajo	≤ 1.45
Medio	≥ 1.46 y ≤ 1.63
Alto	≥ 1.66 y ≤ 1.93

2.1. Perfil de los actores claves entrevistados y pequeños propietarios

Los 200 pequeños propietarios encuestados poseen una edad promedio de 51 años, siendo un 66% hombres y un 34% mujeres, además su nivel educacional se concentra principalmente en la educación básica completa (43%) y educación básica incompleta (38%), sólo el 7% de los encuestados no asistió al colegio, por otro lado las actividades productivas desarrolladas por el grupo encuestado son el cultivo de hortalizas (35%), seguido de los frutales (26%) y la ganadería (25%).

3. Aplicación

El único indicador que es reemplazado es el de nivel piezométrico, que es cambiado por la percepción de los campesinos acerca de los niveles de sus pozos de regadío.

La Figura 43, muestra el mapa referente a la hidrología con dato directo medido en el campo y la misma variable donde el dato de nivel piezométrico es reemplazado por un dato de percepción social. El mapa nos muestra que las personas de la zona central de la cuenca tienen una alta percepción de que el nivel del acuífero ha bajado en comparación a la zona norte y sur, mientras que con solo los niveles piezométricos la sensibilidad en la zona central se ve disminuida. Lo anterior se puede apreciar a simple vista ya que el color de más alta sensibilidad hídrica cambia en la zona oeste del mapa.

Esto tiene sentido si se considera que las mediciones de los niveles piezométricos se hacen en el plano, con el dato que proporcionan las personas en las encuestas es como si se tuviera muchos puntos de medición esparcidos en todo el valle.

Ahora bien, al superponer las cartografías a las demás capas de información aplicando la metodología, las áreas diagnosticadas no varían mayormente utilizando datos medidos en campo y lo percibido (Tabla 38), lo que se puede deber a que varios sectores percibidos con una alta disminución de sus niveles piezométricos son zonas que han cambiado su uso de suelo a cultivos industriales, por lo que la alta intensificación productiva en sectores montañosos la hacen tener un alto riesgo a la degradación de su tierra. El resto del sector de plano se corrobora en un 100% con lo que ha sido diagnosticado con los datos medidos de los niveles piezométricos (Figura 44).

Tabla 38: Niveles de riesgo diagnosticados y hectáreas.

	Sin percepción	Con percepción	Diferencia	Porcentaje de Variación
Bajo	32456.1	31292.3	1163.8	3.6
Medio	80098	79997	101	0.1
Alto	68623.9	69158	-534.1	-0.8

Espacialmente las variaciones espaciales son mínimas casi desapercibidas en los mapas.

Figura 42: Productos cartográficos para el subíndice hídrico.

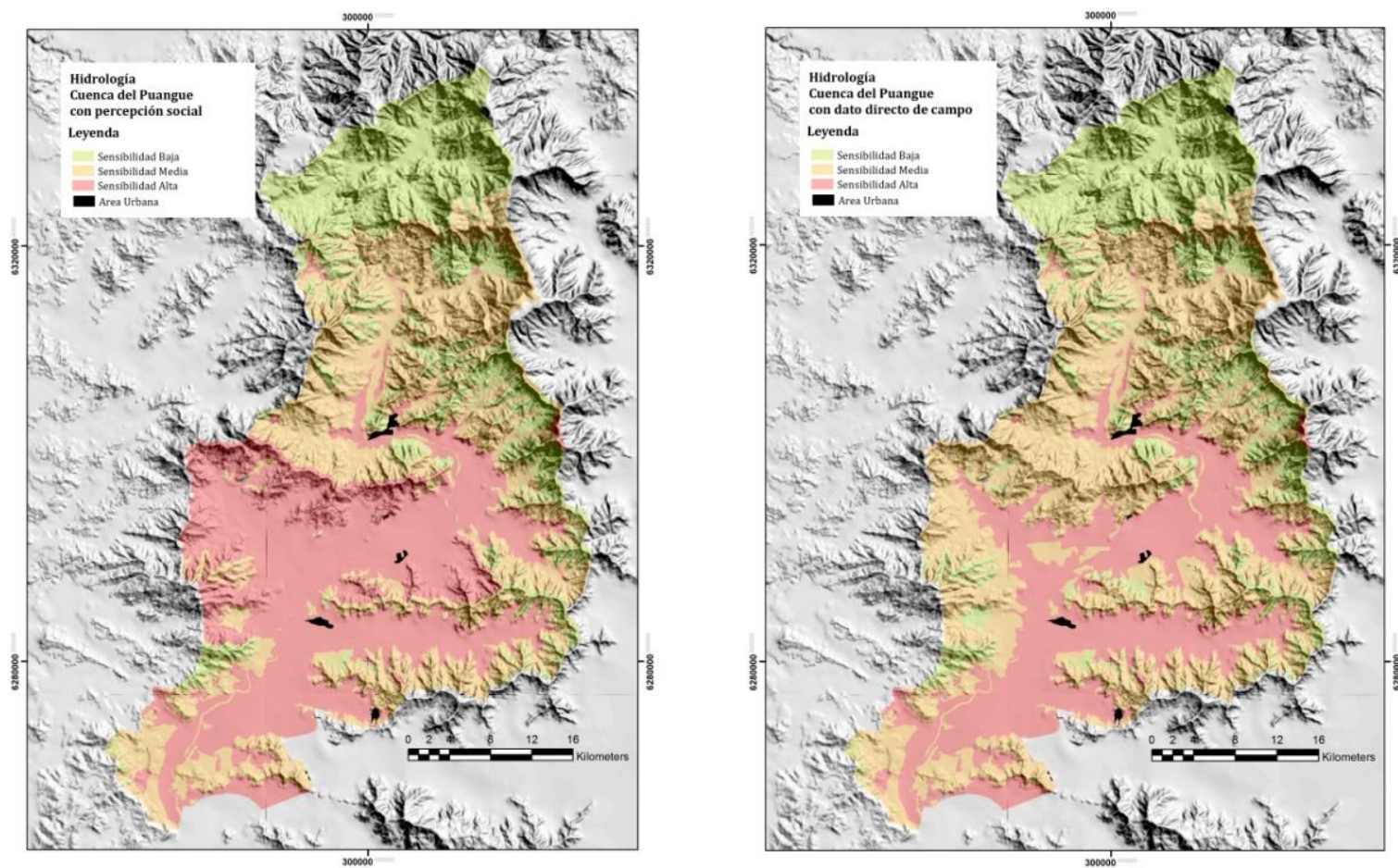
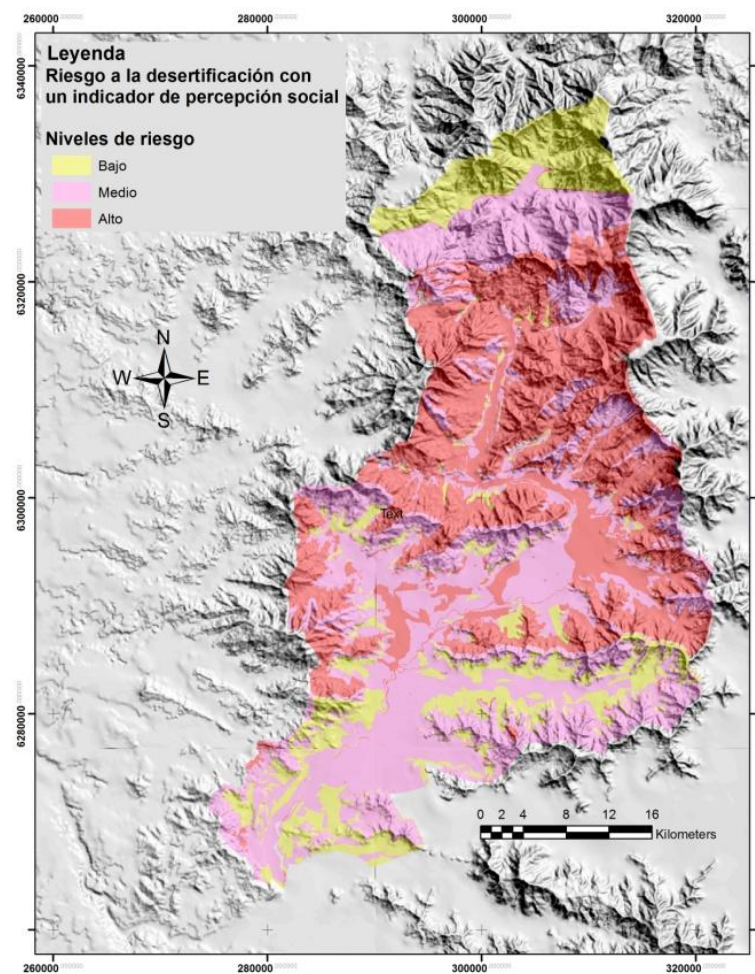
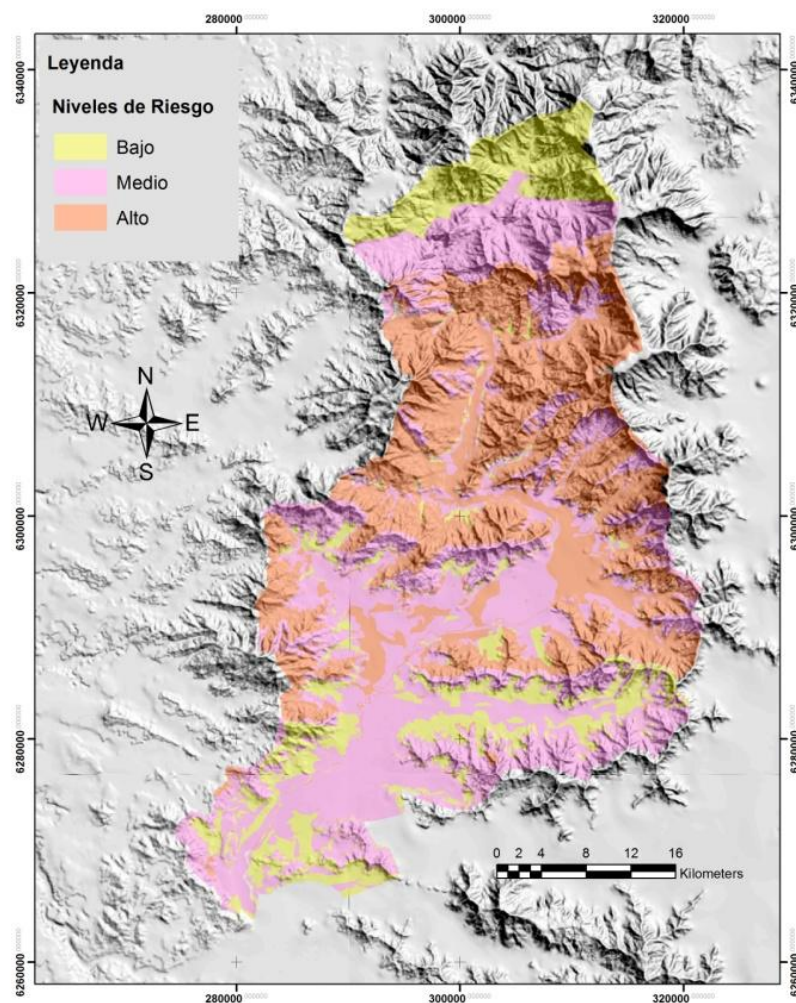


Figura 43: Mapas de riesgo.



4. Conclusiones

Para este trabajo la obtención de un dato a través de entrevistas no modificó mayormente el diagnóstico del riesgo, esto quiere decir que la gente si tiene noción de que existe una disminución de los niveles piezométricos y que estos se corroboran en la zona del plano con el dato medido.

La ventaja de incorporar la variable de percepción en este caso en estudio es que permite visualizar y focalizar el problema identificando puntos para la gestión del área, ya que es necesaria la visión global de la cuenca, pero también el análisis particular del comportamiento de cada indicador, ya que en el diagnóstico global la diferencia en las superficies definidas en riesgo es mínimo, sin embargo solo el análisis de la hidrología con percepción social indica que los pequeños productores del municipio de María Pinto perciben mayormente los cambios en los niveles de los pozos.

Aquí se ve claramente que el problema del riesgo a la desertificación no solo tiene que ver con una variable o indicador, sino que de la combinación de variables y que a la falta de un indicador medido la percepción de la gente puede ser muy útil. La opinión de la gente correlacionada con otros indicadores como cobertura vegetal, gestión o eventos de sequía puede ser fundamental para la definición de estrategias, políticas y planes.

5. Referencias

- Coles A., G. Eosco, T. Norton, J. Ruiz, E. Tate y M. Weathers, 2011. Mapping local knowledge of hazards. Volumen 14 - No. 2, pp 45-58.
- Davison-Hunt, I. and F. Berkes, 2003. Learning as you journey: Anishinaabe perception of social-ecological environments and adaptive learning. *Conservation Ecology* 8(1): 5. [online] URL: <http://www.consecol.org/vol8/iss1/art5>
- Douglas, M., 1992. Risk and blame, Routledge New York.
- Gramsci, A., 2008. The Prison Notebooks. New York, International Publishers.
- Gunderson, L. H., C. S. Holling, 2002. Panarchy: understanding transformations in human and natural systems. Island Press, Washington, D.C., USA.
- Kosmas, C., M., Krikby y N. Geeson, 1999. Manual on key indicator of desertification and mapping environmentally sensitive areas for desertification, European Commission.
- Olsson, P., C. Folke, y T. Hahn, 2004. Social-ecological transformation for ecosystem management: the development of adaptive co-management of a wetland landscape in southern Sweden. *Ecology and Society* 9(4): 2. [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss4/art2>
- Reynolds, JF, DM Stafford Smith, EF Lambin, BL Turner, II, M Mortimore, SPJ Batterbury, TE Downing, H Dowlatabadi, RJ Fernandez, JE Herrick, E Huber-Sannwald, H Jiang, R Leemans, T Lynam, FT Maestre, M Ayarza & B Walker, 2007. Global desertification: Building a science for dryland development. *Science* 316, 847-851.
- Robbins, P., 2003. Beyond ground truth: GIS and the environmental knowledge of herders, professional foresters, and other traditional communities. *Human Ecology* 31(2): 233- 253.
- Scott, J. C., 1998. Seeing like a state. New Haven, Yale University Press.

Walker, B. H., S. R. Carpenter, J. M. Anderies, N. Abel, G. S. Cumming, M. A. Janssen, L. Lebel, J. Norberg, G. D. Peterson, y R. Pritchard, 2002. Resilience management in social-ecological systems: a working hypothesis for a participatory approach. *Conservation Ecology* 6(1): 14. [online] URL: <http://www.consecol.org/vol6/iss1/art14>.

CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES

4. Conclusiones

El primer producto de la tesis es la estrategia metodológica para el desarrollo de estudios y la gestión de la desertificación, como una táctica para enfrentar el problema. Lo anterior respondió a la pregunta principal de ¿cómo desarrollar un proceso integral de evaluación y monitoreo de la desertificación?. La respuesta es a través de tres fases metodológicas claves intrínsecamente interdisciplinarias e integrales: 1) Definición el grado de avance de la desertificación y definición de metas, 2) Asignación de financiamiento para el cumplimiento de metas, conformación del equipo interdisciplinario y definición de acciones que conducen a procesos de cambio, 3) Evaluación y monitoreo de las acciones y metas.

La estrategia anterior plantea una fase inicial en la que se hace una evaluación preliminar del área y que corresponde a la fase 1. Consecuentemente y para efectos de esta tesis se desarrolló esta etapa importantísima a través de un índice de riesgo, que arrojó que ambas zonas poseen una proporción importante de su superficie con alto a moderado riesgo. Es decir están altamente propensas a sufrir un daño que tiene dos componentes: zonas amenazadas y población que está expuesta a la amenaza. De esta manera, la aplicación del modelo de riesgo aquí presentado corresponde a un sistema de alerta temprana para lugares donde no existen estudios de estas características o poseen problemas de degradación que no han sido evaluados en profundidad como lo son los casos en estudio. En este caso se ha definido un modelo de riesgo que entre otras bondades es adaptable y flexible.

Conclusiones asociadas al diseño de una estrategia para el estudio y gestión de la desertificación

Se han realizado enormes esfuerzos para estimar las superficies del planeta afectadas por desertificación principalmente impulsados por la Convención de Naciones Unidas de Lucha contra la desertificación y proyectos como DIS4ME y DESERTLINK, en las que se utilizan distintas metodologías, con diferentes modelos, índices e indicadores de gestión para evaluar el proceso. Sin embargo, en las investigaciones revisadas en desertificación, se observan diferencias en cuanto a los marcos conceptuales y su

definición; existe una carencia de integración interdisciplinaria para responder a la necesidad de generar estrategias de lucha contra la desertificación a nivel local y comunitario; tan necesario en los países de América Latina con una rica diversidad cultural: Estos países se han ido adaptando a la utilización de nuevas tecnologías en áreas rurales, cada vez más demandantes de recursos naturales cada vez más escasos. Lo anterior hace necesario una convergencia en la forma de hacer investigación hacia el estudio de cómo viven y se relacionan las comunidades locales con su medio ambiente.

Se obtuvieron dos resultados en esta etapa: 1) diseño de una estrategia para el estudio y gestión de la desertificación para el mediterráneo latinoamericano y 2) modelo para la selección de indicadores. Para lograr lo anterior fue necesario armar una dinámica de análisis que corresponde a: la revisión y análisis bibliográfico y la búsqueda de indicadores adecuados, útiles y disponibles para proponer el índice de riesgo a la desertificación de la fase 1 de la estrategia.

Se piensa que esta estrategia es una propuesta interdisciplinaria que puede ser probada en otros sitios en estudio y constituye una importante pauta metodológica para aplicar y replicar. En relación a lo anterior y aunque solo en esta tesis se cumplió con la fase 1 de la estrategia, es interesante la herramienta, ya que constituye una guía que permite visualizar que el siguiente paso es sociabilizar los resultados de esta etapa con la sociedad, ya que la aplicación del índice de riesgo asienta las bases para la gestión de ambas áreas.

Como fruto de esta etapa se creó el software “Encuesta para la selección de indicadores en desertificación para expertos”, que trata de un método de investigación social aplicado para obtener información con respecto a los indicadores a utilizar dirigido a expertos (ANEXO 2).

Conclusiones asociadas al diseño de un modelo de riesgo para definir el tipo de área (Fase 1 de la estrategia).

Identificación de nuevos indicadores para complementar el modelo de sensibilidad.

Las principales conclusiones generales de este apartado se basan en lo interesante que es encontrar la causa cuando nos enfrentamos a esta clase de estudios tan complejos, ya que la elección de los indicadores va a depender principalmente de las causas y los efectos; lo anterior se ve más claramente en los indicadores que fueron seleccionados para la construcción del índice de riesgo. Por ejemplo, los procesos de degradación en los lugares de estudio viene dado por el impacto de la expansión del suelo agrícola, la demanda de agua y por las características de aridez propias de estas áreas; además estas zonas poseen precipitaciones que ocasionan crecidas que algunos autores les llaman “flash floods” que es el tipo de inundaciones en zonas áridas; el entender lo anterior permitió realizar un ejercicio interesante. La razón anterior es simple: “Vegetación sin agua, disminuye su cobertura. Un suelo sin vegetación y con un evento de lluvia se erosiona”. Por lo que los dos estudios incluidos en este apartado que están relacionados con el levantamiento de información primaria para suplir la falta de datos se justifican muy bien.

Con respecto a lo socioeconómico el diagnóstico y conocimiento de los indicadores utilizados en el mundo fue fundamental, ya que permitió discernir cuáles de los indicadores científicamente validados estaban disponibles y pertinentes para ser utilizados.

Aplicación del modelo base y el índice de riesgo a la desertificación.

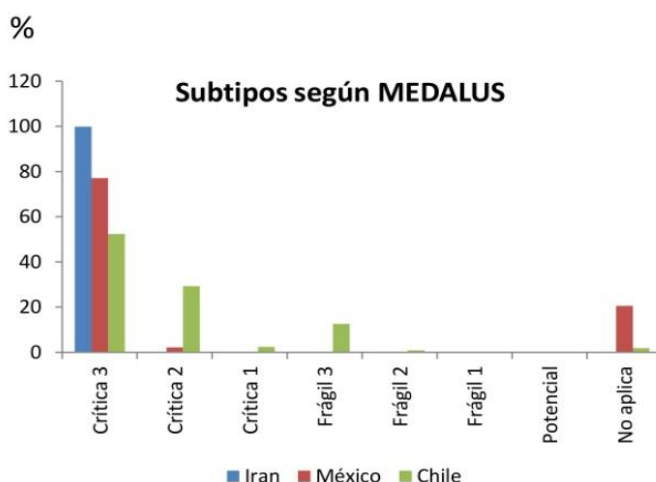
Se obtuvieron dos resultados en esta etapa: Uno derivado de la aplicación del modelo de sensibilidad ambiental y otro derivado de la aplicación de índice de riesgo.

Entre los hallazgos que se obtuvieron al aplicar el índice de sensibilidad ambiental es que el modelo se puede aplicar a ambas escalas meso y micro debido a su adaptabilidad, y permite comparar el estado de un lugar con respecto a otro e identificar a grandes rasgos lo que pasa. Esto se ve con más claridad al comparar a nivel mundial tres lugares con la aplicación del modelo de sensibilidad incluyendo los resultados del trabajo de Farajzadeh y Egbal (2007) en Iyzad hast en Iran.

Por ejemplo, es posible comparar en términos de porcentaje: Iyzad hast en Iran, Maneadero en México y el Puangue en Chile (Figura 2), lo anterior es relevante ya que los casos de Irán y Chile son a nivel de cuenca y Maneadero es una localidad, lo que muestra la adaptabilidad del modelo tal como lo plantean los autores que lo han utilizado.

En este contexto Iyzad hast y Maneadero presentan casi toda su superficie con el más alto rango, mientras que en el Puangue la superficie total se distribuye en los diferentes rangos. El Puangue entonces tiene menor grado de sensibilidad, de tal manera que en el Puangue existen áreas con funciones ambientales en estado mejor de conservación lo que es imposible de visualizar en los otros dos lugares. Más allá de esta comparación es difícil de realizar, porque más que preocuparse en comparar los detalles, este modelo sirve para identificar qué lugar es más sensible que otro, pero las medidas y el manejo para cada lugar se deben de hacer a un mayor grado de detalle.

El modelo de sensibilidad está validado en diferentes trabajos por lo que en términos de porcentajes permite contextualizar a las áreas en estudio a nivel internacional. Iran: Iyzad hast, México: Maneadero, Chile: Puangue.



Con respecto a los casos en estudio se concluye que ambas áreas en estudio tienen gran superficie de su territorio con riesgo a desertificarse, esto cobra relevancia ya que tanto Maneadero en México, como El Puangue en Chile no tenían una evaluación

de la degradación de la tierra, por lo que se sugiere que las evaluaciones a nivel nacional tienen que manejar evaluaciones a multiescala, porque seguramente por las escalas de trabajo a nivel nacional se pierden ciertas particularidades regionales y locales que aumentan el riesgo a la desertificación.

Se considera que el modelo de riesgo propuesto en este estudio es aplicable a zonas: a) tipo mediterráneo b) sobreexplotadas hidrológicamente c) con problemas de disminución de las propiedades de sus suelos d) con agricultura intensiva.

Esta tesis sienta las bases para el monitoreo del riesgo a la desertificación de ambas zonas, ya que se cuenta para ambos lugares con el diagnóstico, sin embargo para el monitoreo se hace necesario gestionar el trabajo conjunto de los tres componentes definidos en este estudio: academia, administración pública y los usuarios de la tierra. Ninguno de los componentes es de mayor importancia que el otro, el problema surge cuando los canales de comunicación no son expeditos o cuando falta mayor comprensión y empatía entre cada uno de ellos. En este sentido no se habla de un solo tomador de decisiones, las decisiones son tomadas en conjunto.

Por lo pronto urge desde el punto de vista disciplinario para ambas áreas de estudio generar a futuro:

- Conocimiento acerca de las prácticas locales para definir estrategias de prevención y conservación de los recursos.
- Identificar zonas de recarga natural de los acuíferos y definirlas como zonas de protección.
- Medidas de educación ambiental para el cuidado del recurso hídrico.
- Bases de datos actualizadas de los recursos naturales referidas a:
 - ✓ Levantamiento a nivel local del recurso suelo (estudios edafológicos de las características y propiedades del suelo).
 - ✓ Estaciones de monitoreo de los niveles piezométricos y del total de sólidos disueltos de los acuíferos como una política y estrategia de sustentabilidad en el tiempo, para que existan datos correlativos que permitan conocer la evolución del estado del recurso.

Con respecto al experimento con percepción social.

Una de las conclusiones importantes al incorporar la percepción social es que se ve claramente que el problema del riesgo a la desertificación no solo tiene que ver con una variable o indicador, sino que de la combinación de variables y que a la falta de un indicador medido la percepción de la gente puede ser muy útil. La opinión de la gente correlacionada con otros indicadores como cobertura vegetal, gestión o eventos de sequía puede ser fundamental para la definición de estrategias, políticas y planes.

La obtención de un dato a través de entrevistas no modificó mayormente el diagnóstico del riesgo, esto quiere decir que la gente tiene noción de que existe una disminución de los niveles piezométricos y que estos se corroboran en la zona del plano con el dato medido.

Es importante que los estudios en desertificación presenten metodologías interdisciplinarias, que se identifiquen claramente las causas y las estrategias para su prevención, mitigación y restauración, no solo los de impacto. Sobre todo, es urgente que las investigaciones incluyan los saberes locales y se realicen proyectos transdisciplinarios para la resolución de problemas de desertificación en una escala fina.

- ✓ Finalmente, fue posible diseñar una estrategia para el estudio y gestión de la de la desertificación para cuencas y localidades mediterráneas latinoamericanas, habría ahora que replicar la estrategia en más sitios similares y en otras tierras secas.

Recomendaciones generales para futuros estudios en desertificación.

Se sugiere para futuros trabajos en desertificación a nivel general:

- Definir indicadores y parámetros mínimos según escalas.
- Homogeneizar el lenguaje con que se comunican los indicadores, para que sean comprendidos por la sociedad.
- Trabajar en tipologías de degradación de la tierra para poder generar comparaciones y orientar los recursos públicos y las medidas de mitigación.

- Los indicadores biofísicos han sido muy estudiados, es necesario probar e incluir indicadores socioeconómicos y de percepción social para que las estrategias sean apropiadas por la gente.

Cuando existen lugares con problemas de degradación de la tierra relacionados con el agua, el suelo, la vegetación y la gestión; la sociedad genera estudios para diagnosticar el estado de los ecosistemas, en este sentido, ambas áreas de estudio tienen informes previos de los problemas sentidos por los habitantes de los lugares con lo que se definieron los indicadores que fueron agregados al modelo. Por lo que es muy importante considerar la información de diagnósticos sectoriales y disciplinarios y los planes de desarrollo preexistentes, que permiten conocer la visión de la sociedad con respecto al lugar en donde viven.

Un trabajo de monitoreo requiere de varios años de investigación y presupuesto; este debe ser integral y participativo; por lo que se requieren múltiples profesionales capacitados en el área de las ciencias sociales, la comunicación de la ciencia y la economía, que sirvan de enlace entre los académicos, la administración pública y los usuarios de la tierra.

Limitaciones del trabajo.

Entra las principales limitaciones del trabajo se encontró la gran cantidad de documentación acerca del tema, pero muchas veces poco práctica, hay una extensa cantidad de documentos, pero son escasos los trabajos que incluyen a los usuarios de la tierra y sobre todo que sean metodológicamente inclusivos de los usuarios de la tierra en zonas secas, esto desde el origen del diagnóstico del problema hasta el monitoreo, por lo que es difícil publicar artículos que toquen este tema sin entrar en cuestiones disciplinarias y entrar en susceptibilidades técnicas.

Otras limitaciones se relacionan con la falta de datos con respecto al monitoreo de los recursos naturales. En este contexto, se encuentran datos no correlativos en el tiempo o simplemente inexistentes, por lo que es difícil tener una visión temporal de la evolución de los diferentes recursos en el tiempo.

El tiempo y presupuesto para llevar a la práctica la estrategia propuesta en esta tesis, ya que solo en la propuesta metodológica es necesario tener un bagaje no solo de lo que es la desertificación, sino de cómo plantear indicadores y seleccionarlos, que éstos tengan validación científica y que sea reconocida su utilización para el diagnóstico del problema.

5. ANEXOS

ANEXO 1: 134 ESTUDIOS DE CASOS

Numero de caso	Nombre	Autor	Revista
<u>1</u>	Temporal-spatial variability of desertification in an agro-pastoral transitional zone of northern Shaanxi Province, China	Qi, Yanbing	CATENA
<u>2</u>	The Construction and Application of an Aledo-NDVI Based Desertification Monitoring Model	Zongyi Ma	PROCEDIA ENVIRONMENTAL SCIENCE
<u>3</u>	Multi-scale quantitative assessment of the relative roles of climate change and human activities in desertification – A case study of the Ordos Plateau, China	Xu	<u>Journal of arid environment</u>
<u>4</u>	Multi-temporal assessment of land sensitivity to desertification in a fragile agro-ecosystem: Environmental indicators	Noura Bakr	Ecological Indicators
<u>5</u>	MODELING DESERTIFICATION CHANGE IN MINQIN COUNTY CHINA	Sun	Environmental Monitoring and Assessment
<u>6</u>	Monitoring desertification in a Savannah region in Sudan using Landsat images and spectral mixture analysis	Dawelbait	Journal of Arid Environments
<u>7</u>	A GIS-based approach for desertification risk assessment in Apulia region, SE Italy	Ladisa	Physics and Chemistry of the Earth
<u>8</u>	Local spatiotemporal dynamics of a simple aridity index in a region susceptible to desertification	Costa	Journal of Arid Environments
<u>9</u>	Land sensitivity to desertification across Italy: Past, present, and future	Salvati	Applied Geography
<u>10</u>	Historical desertification of the Mu Us Desert, Northern China: a multidisciplinary study	Yin Zhou Huang	Geomorphology
<u>11</u>	30 Years of protection and monitoring of a steppic rangeland undergoing desertification	H. Slimani	Journal of arid environment
<u>12</u>	Application of sensitivity analysis for assessment of de- desertification alternatives in the central Iran by using Triantaphyllou method	Mohammad	Environ Monit Assess
<u>13</u>	Monitoring aeolian desertification process in Hulunbir grassland during 1975-2006, Northern China	Guo	Environ Monit Assess
<u>14</u>	Quantitative assessment of desertification in south of Iran using MEDALUS method	Sepehr	Environ Monit Assess
<u>15</u>	Performance evaluation and cost assessment of a key indicator system to monitor desertification vulnerability	Ferrara	Ecological Indicators
<u>16</u>	A Comprehensive approach to drought and desertification in Northern Nigeria	Oladipo	Natural hazard

<u>17</u>	Application of remote sensing and GIS in the study of environmental sensitivity to in Basrah Province, southern part of Irak	Hadeel	Appl Geomat
<u>18</u>	Establishing evaluation index system for desertification of Keerqin sandy land with remote sensing data	Fan wen-yi	Journal of Forestry Research
<u>19</u>	Assessing potential desertification environmental impact in life cycle assessment	Nuñez	Int J Life Cycle Assess
<u>20</u>	Dessertification assessment and mapping in the Russian Federation	Kust	Arid ecosystem
<u>21</u>	Numerical model to assess the impact of the strategies to mitigate desertification	Salinas	Mitig Adapt Strateg Glob Change
<u>22</u>	Ranking desertification indicator using TOPSIS algoritmo	Sepehr	Natural hazard
<u>23</u>	The effects of land-use types and conversions on desertification in Mu Us Sandy Land of China	Hao Chengyuan	J Geographical Sciences
<u>24</u>	USING A GIS FOR SUSTAINABLE USE AND MANAGEMENT OF AN IRRIGATION AREA IN THE SPANISH-PORTUGUESE BIRDER THREATENED BY DESERTIFICATION	Nunes	a Security Issue
<u>25</u>	Human Driving Forces: Analysis of Rocky Desertification in Karst	Wu	Chin Geog.
<u>26</u>	Desertification hazard zoning in Sistan Region, Irán	Seyed	J. Geogr Sci
<u>27</u>	Land use history and status of land desertification in the Heihe river basin	Wei	Nat hazard
<u>28</u>	Landscape change and sandy desertification in arid areas:a case study in the Zhangye Region of Gansu Province, China	Luo	Environ Geol
<u>29</u>	Estudio comparativo de un indicador de desertificación para zonas agrícolas semi-áridas, cuenca Guadalentín sureste de España	Laguna	Papeles de Geografía
<u>30</u>	A multi-component GIS framework for desertification risk assessment by an integrated index	Santini	Applied Geography
<u>31</u>	Early warning indicators of desertification: examples of test in the Chihuahuan desert	Amrita G. de Soyza	Journal of Arid Environments
<u>32</u>	DESERTIFICATION IN JORDAN	MU'TAZ AL-ALAWI	Environmental Change and Human Security

<u>33</u>	DESERTIFICATION EVALUATED USING AN INTEGRATED ENVIRONMENTAL ASSESSMENT MODEL	MOUAT	Environmental Monitoring and Assessment
<u>34</u>	A dynamic simulation model of desertification in Egypt	M. Rasmy	The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences
<u>35</u>	Land desertification monitoring and assessment in Yulin of Northwest China using remote sensing and geographic information systems (GIS)	Yuanzhi Zhang	Environ Monit Assess
<u>36</u>	Desertification in the Eastern Province of Saudi Arabia	Hans-JoK rg Barth	Journal of Arid Environments
<u>37</u>	Processes of desertification by goats overgrazing in the Tamaulipan thornscrub (matorral) in north-eastern México	Mario G. Manzano	Journal of Arid Environments
<u>38</u>	Aridity and desertification: Exploring environmental in hazards in Ja'chal , Argentina	Susana B. Adamo	Applied Geography
<u>39</u>	Irrigation expansion and dynamics of desertification in the Circum-Aral region of Central Asia	Tatyana A. Saiko	Applied Geography
<u>40</u>	Agricultural causes of desertification risk in Minqin, China	Sun Danfeng	Journal of Environmental Management
<u>41</u>	Desertification indicators as diagnosis criteria for desertification risk assessment in europe	J. L. Rubio & E. Bochet	Journal of Arid Environments
<u>42</u>	Geomorphic changes leading to natural desertification versus anthropogenic land conservation in an arid environment	Yoav Avni	Geomorphology
<u>43</u>	A climate model-based review of drought in the Sahel: Desertification, the re-greening and climate change	Alessandra Giannini	Global and Planetary Change
<u>44</u>	Desertification and climate change—the Australian perspective	G. Pickup	CLIMATE RESEARCH
<u>45</u>	Landscape change and desertification development in the Mu Us Sandland, Northern China	Wu	Journal of Arid Environments
<u>46</u>	The relative role of climatic and human factors in desertification in semiarid China	Xunming Wang	Global Environmental Change
<u>47</u>	Evaluation of Medalus Model for desertification hazard zonation using GIS; study area:Iyzad Plain, Iran	Manuchehr	Pakistan Journal Biological Science
<u>48</u>	Socio-ecological analysis of desertification in the Mu-Us Sandy Land with satellite remote sensing	Tatsuaki Kobayashi	Landscape Ecol Eng
<u>49</u>	Climatic consequences of gradual desertification in the semi - arid area of Northeast Brazil	Dayana Castilho de Souza	Theor Appl Climatol

50	Performance evaluation and cost assessment of a key indicator system to monitor desertification vulnerability	Agostino Ferrara	Ecological Indicators
51	Desertification process and impact rainfed agricultural region	Sanders	Climate Change
52	Utilization of water resources, ecological balance and land desertification in the Basin Xinjiang	Fan Zili	Science in China
53	Anthropogenic causes of desertification in western Sudan	Ibrahim	Geojournal
54	DESERTIFICATION AND CLIMATE CHANGE: THE CASE FOR GRATER CONVERGENCE	ALAN GRAINGER	Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change
55	Climate change, drought and desertification	Henry N. Le Hou'rou	Journal of Arid Environments
56	Potentialities and limitations of conventional climatological data for desertification	Landsberg	Climatic Change
57	DESERTIFICATION AND ENVIRONMENTAL SECURITY.THE CASE OF CONFLICTS BETWEEN FARMERS AND HERDERS IN THE ARID ENVIRONMENTS OF THE SAHEL	Sergio Tirado Herrero	a Security Issue
58	Land use history and status of land desertification in the Heihe river basin	Liu Wei	Nat Hazards
59	DRYLAND DEVELOPMENT,DESERTIFICATION AND SECURITY IN THE MEDITERRANEAN	Uriel N. Safriel	a Security Issue
60	COMMUNITY BASED INTERVENTIONS AS A STRATEGY TO COMBAT DESERTIFICATION IN THE ARID AND SEMI ARID RANGELANDS OF KAJIADO DISTRICT, KENYA	PETER N. MACHARIA	Environmental Monitoring and Assessment
61	Early warning indicators of desertification: examples of tests in the Chihuahuan Desert	Amrita G. de Soyza	Journal of Arid Environments
62	Fractal features of soil particle size distribution and the implication for indicating desertification	Yong Zhong Su	Geoderma
63	Desertification Control and Natural Resource management in the aridity zones of the third world a development policy assessment	Winckler, Ginter	Geojournal
64	Assessment of karst rocky desertification using the radial basin function network modeland GIS technique: a case study of Guizhou Province, China	Huang Qiu-hao	Environ Geol
65	Perspectives on desertification: western Mediterranean	Juan Puigdef'abregas	Journal of Arid Environments
66	Livestock, soil compaction and water infiltration rate: evaluating a potential desertification recovery mechanism	M.J. Castellano	Journal of Arid Environments

67	Urbanization and Desertification in the Sudan with special reference to khartourn	Babiker	GeoJournal
68	Estimate of total CO2 output from desertified sandyland in China	Duan Zhenghu	Atmospheric Environment
69	Adaptations to climate change, drought and desertification:local insights to enhance policy in southern Africa	Lindsay C. Stringer	En v i r o n m e n t a l s c i e n c e & p o l i c e
70	Desertification in the Eastern Province of Saudi Arabia	Hans-JoK rg Barth	Journal of Arid Environments
71	Climate change and desertification: Where do we stand, where should we go?	Michel M. Verstraete	Global and Planetary Change
72	Herders and wildgame behaviour as a strategy against desertification in northern Cameroon	Etienne Tedonkeng Pamo	Journal of Arid Environments
73	Agricultural causes of desertification risk in Minqin, China	Sun Danfeng	Journal of Environmental Management
74	Interactions between climate and desertification	M.V.K. Sivakumar	Agricultural and Forest Meteorology
75	Combating desertification in the Negev: dryland agriculture vs dryland urbanization	B.A. Portnov	Journal of Arid Environments
76	CROSS-SCALE MONITORING AND ASSESSMENT OF LAND DEGRADATION AND SUSTAINABLE LAND MANAGEMENT : A METHODOLOGICAL FRAMEWORK FOR KNOWLEDGE MANAGEMENT	M. S. REED	land degradation & development
77	Role of demonstration projects in combating desertification	Peter F. Ffolliott	Journal of Arid Environments
78	Future desertification and climate change: The need for land-surface system evaluation improvement	A. Henderson-Sellers	Global and Planetary Change
79	Subdivision and fragmentation of land holdings and theier implication in desertification in the Thar desert, India	K. Anantha Ram	Journal of Arid Environments
80	The hydrological indicators of desertification	K. D. Sharma	Journal of Arid Environments
81	APPLICATION OF INDICATOR SYSTEMS FOR MONITORING AND ASSESSMENT OF DESERTIFICATION FROM NATIONAL TO GLOBAL SCALES	S. SOMMER	land degradation & development
82	Indigenous knowledge and the desertification debate: problematising expert knowledge in North Africa	Diana K. Davis	Geoforum

83	Organisational drivers for, constraints on and impacts of decision and information support tool use in desertification policy and management	Esther Diez	Environmental Modelling & Software
84	MONITORING AND ASSESSMENT OF LAND DEGRADATION AND DESERTIFICATION: TOWARDS NEW CONCEPTUAL AND INTEGRATED APPROACHES	J. V. VOGT	land degradation & development
85	Desertification in reverse? Observations from northern Burkina Faso	Kjeld Rasmussen	Global Environmental Change
86	Reviewing the International Year of Deserts and Desertification 2006: what distribution towards combating global desertification and implementing the United Nations Convention to Combat Desertification?	L.C. Stringer	Journal of Arid Environments
87	SCIENTIFIC CONCEPTS FOR AN INTEGRATED ANALYSIS OF DESERTIFICATION	J. F. REYNOLDS	land degradation & development
88	Combating desertification in the southern Kalahari: connecting science with community action in South Africa	Andre F. van Rooyen	Journal of Arid Environments
89	Assessment of aeolian desertification trends from 1975's to 2005's in the watershed of the Longyangxia reservoir in the upper reaches of China's Yellow River	C.Z. Yan	Geomorphology
90	Gully incision as a key factor in desertification in an arid environment, the Negev highlands, Israel	Y. Avni	Catena
91	Climate change and grasslands through the ages: an overview	L. 't Mannetje	Grass and Forage Science
92	Aspectos socioeconómicos y biofísicos de la desertificación	J.F. Reynolds	Ecosistemas
93	Desertificación Global: Construyendo una Nueva Ciencia para las Zonas secas	James F. Reynolds	Science
94	Progress in the study of desertification in China	Dengshan Ding	Progress in Physical Geography
95	Monitoring desertification and land degradation over sub-Saharan Africa	E. SYMEONAKIS	INT. J. REMOTE SENSING
96	LAND DEGRADATION MONITORING IN NAMIBIA: A FIRST APPROXIMATION	PATRIK KLINTENBERG	Environmental Monitoring and Assessment
97	Socio-Economic Dynamics, Local development and desertification in Western Lesvos, Greece	THEODOROS IOSIFIDES	Local environment
98	MODELING DESERTIFICATION CHANGE IN MINQIN, COUNTY, CHINA	DANFENG SUN	Environmental Monitoring and Assessment

99	Land management practices for combating desertification cause species replacement of desert lizards	DROR HAWLENA	Journal of Applied Ecology
100	Sustainable management of grassland ecosystems for controlling Asian dusts and desertification in Asian continent and a suggestion of Eco-Village study in China	Eun-Shik Kim	Ecol Res
101	The temporal change of driving factors during the course of land desertification in arid region of North China: the case of Minqin County	Yonghuan Ma	Environ Geol
102	Aeolian desertification from the mid-1970s to 2005 in Otindag Sandy Land, Northern China	Shulin Liu	Environ Geol
103	Plant species as indicators of the extent of desertification in four sandy rangelands	Ping An	Afr. J. Ecol
104	Global Attention to Turkey Due to Desertification	S. Camci Çetin	Environ Monit Assess
105	Spatial vegetation patterns and imminent desertification in Mediterranean arid ecosystems	Sonia Ke'fi	Nature
106	Sandy desertification change and its driving forces in western Jilin province, North China	Li Fang	Environ Monit Assess
107	Health-Related Quality of Life and recognition of desertification among inhabitants of the loess plateau region of China: Findings for city and Village Communities	Haosheng Mu, M.D.	Journal of Environmental Health
108	Perceiving the Environment from the Lay Perspective in desertified areas, Northern China	Harry F. Lee	Environmental Management
109	Landscape connectivity changes analysis for monitoring desertification of Minqin county, China	Sun Danfeng	Environ Monit Assess
110	Re-evaluating the impacts of human activity and environmental change on desertification in the Minqin Oasis, China	Xiaoyou Zhang	Environ Geol
111	Beyond the Desertification Narrative: a Framework for agricultural drought in semi arid East Africa	Monique F. W. Slegers	Ambio
112	Indicators of desertification in the Kulunda Steppe in the south of Western Siberia	Burghard Christian Meyer	Archives of Agronomy and Soil Science
113	The relations between land use and karst rocky desertification in a typical karst area, China	Yang-bing Li	Environ Geol

114	Do Changes in Connectivity Explain desertification?	GREGORY S. OKIN	BioScienc
115	Shrub encroachment can reverse desertification in semi - arid Mediterranean grasslands	Fernando T. Maestre	Ecology Letters
116	Vegetation pattern variation, soil degradation and their relationship along a grassland desertification gradient in Horqin sandy land, northern China	Xiaoan Zuo	Environ Geol
117	PROCEDIMIENTO Y MARCO METODOLÓGICO PARA LA OBTENCIÓN DE INDICADORES DE DESERTIFICACIÓN EN FORMA PARTICIPATIVA	Elena M. Abraham	Scripta nova
118	Convergence or divergence in desertification risk? Scale-based assessment and policy implications in a Mediterranean country	Luca Salvati	Journal of Environmental Planning and Management
119	The contribution of dams to Iran's desertification	FATEMEH ZAFARNEJAD	International Journal of Environmental Studies
120	LAND DEGRADATION AND DESERTIFICATION RISK IN DOBROGEA REGION	Marioara Nicolaescu	Environmental Engineering and Management Journal
121	Landscape Change and Sandy Desertification Monitoring and Assessment	Eltahir Mohd Elhadi,	American Journal of Environmental Sciences
122	Climate change and desertification in South Africa – science and response	ERM Archer	African Journal of Range & Forage Science
123	Some thoughts on policy and desertification: what key contributions can scientists make to policy processes in the southern African context?	J Zeidler	African Journal of Range & Forage Science
124	The evolution of Saharan dust input on Lanzarote (Canary Islands) - influenced by human activity in the Northwest Sahara during the early Holocene?	H. von Suchodoletz	The Holocene
125	Past desertification processes of Minqin Oasis in arid China	Yaowen Xie	International Journal of Sustainable Development & World Ecology
126	Ancient water management techniques to counteract drought and desertification in the mediterranean	Pietro Laureano	Water Science & Technology: Water Supply—WSTWS
127	COMBATING DESERTIFICATION: BUILDING ON TRADITIONAL KNOWLEDGE SYSTEMS OF THE THAR DESERT COMMUNITIES	MAHESH K. GAUR	Environmental Monitoring and Assessment
128	Desertification? Northern Ethiopia re-photographed after 140 years	Jan Nyssen	SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT

129	An application of mathematical models to select the optimal alternative for an integral plan to desertification and erosion control (Chaco Area- Salta Province- Argentina)	J. B. Grau	Biogeosciences
130	COMMUNITY BASED INTERVENTIONS AS A STRATEGY TO COMBAT DESERTIFICATION IN THE ARID AND SEMI ARID RANGELANDS OF KAJIADO DISTRICT, KENYA	PETER N. MACHARIA	Environmental Monitoring and Assessment
131	Advances in desertification and climate change research: Are they accessible for application to enhance capacity?	M. Seely	Global and Planetary Change
132	Aspectos socioeconómicos y biofísicos de la desertificación	J.F. Reynolds	Ecosistemas
133	PROCEDIMIENTO Y MARCO METODOLÓGICO PARA LA OBTENCIÓN DE INDICADORES DE DESERTIFICACIÓN EN FORMA PARTICIPATIVA1	Elena M. Abraham	Scripta nova
134	CROSS-SCALE MONITORING AND ASSESSMENT OF LAND DEGRADATION AND SUSTAINABLE LAND MANAGEMENT : A METHODOLOGICAL FRAMEWORK FOR KNOWLEDGE MANAGEMENT	M. S. REED	land degradation & development

ANEXO 2:DISEÑO Y PUBLICACIÓN DE SITIO WEB

1. SOFTWARE PARA LA SELECCIÓN DE INDICADORES



Puede acceder a la página web de este producto de la tesis en el siguiente link.

http://encuestas.besaba.com/paginaprincipal_1.htm

ANEXO 3: LISTADO DE INDICADORES CLASIFICADOS

Indicadores climáticos

1	Nombre	Velocidad del viento
	Tipo	Indicador
	Descripción	El viento es considerado un factor climático importante que afecta la erosión del suelo en las zonas secas , que causan graves problemas de sequía atmosférica y causa daño a las plantas en crecimiento.
	PER	Estado
2	Nombre	Precipitaciones
	Tipo	Indicador
	Descripción	La precipitación es el agua que alcanza la superficie terrestre procedente de la atmósfera en forma líquida (lluvia) o sólida (nieve).
	PER	Estado
3	Nombre	Temperatura del aire
	Tipo	Indicador
	Descripción	La temperatura es un índice indicativo del calentamiento o enfriamiento del aire que resulta del intercambio de calor entre la atmósfera y la tierra. La temperatura indica en valores numéricos el nivel de energía interna que se encuentra en un lugar en ese momento.
	PER	Estado
5	Nombre	Tendencia a la sequía
	Tipo	Indicador
	Descripción	Propensión a sufrir una disminución temporal de la disponibilidad de agua
	PER	Presión
6	Nombre	Calidad de clima
	Tipo	Índice
	Descripción	Este índice es calculado utilizando las clasificaciones de los siguientes parámetros : la lluvia , el índice de aridez y la orientación .
	PER	Estado
7	Nombre	Tendencia de las precipitaciones
	Tipo	Indicador
	Descripción	Comportamiento de las precipitaciones en el tiempo
	PER	Estado
8	Nombre	Variabilidad de las precipitaciones
	Tipo	Indicador
	Descripción	Se refiere a la regularidad e intensidad con que se presentan las precipitaciones

	PER	Presión
9	Nombre	Inundaciones
	Tipo	Indicador
	Descripción	Tipo y probabilidad de que ocurra una inundación
	PER	Presión
10	Nombre	Número de días con tormenta
	Tipo	Indicador
	Descripción	Número de días con tormenta
	PER	Presión
11	Nombre	Tipo de clima
	Tipo	Indicador
	Descripción	Conjunto de condiciones atmosféricas como humedad, presión, lluvia, temperatura, vientos, entre otros, que caracterizan a una región en particular.
	PER	Estado
12	Nombre	Evapotranspiración
	Tipo	Indicador
	Descripción	En la transferencia del vapor de agua de la tierra a la atmósfera, además del proceso de la evaporación, entra también en juego el de la transpiración de las plantas, la combinación de ambos procesos se llama evaporación y se refiere a la máxima cantidad de agua capaz de ser perdida, en forma de vapor, bajo unas condiciones climatológicas dadas por un período determinado.
	PER	Presión
13	Nombre	Radiación
	Tipo	Indicador
	Descripción	La radiación solar es la principal fuente de energía en el sistema climático. La cantidad de energía recibida desde el Sol a la capa externa de la atmósfera en un plano perpendicular a los rayos del sol, cuando la tierra está a una distancia media del sol.
	PER	Estado
14	Nombre	Radiación
	Tipo	Indicador
	Descripción	estudia los cambios atmosféricos que se producen a cada momento, utilizando parámetros como la temperatura del aire, su humedad, la presión atmosférica, el viento o las precipitaciones. El objetivo de la meteorología es predecir el tiempo que va a hacer en 24 o 48 horas y, en menor medida, elaborar un pronóstico del tiempo a medio plazo.
	PER	Presión

Indicadores de Vegetación

1	Nombre Tipo Descripción PER	Calidad vegetal Índice Este índice se calcula utilizando las clasificaciones de los siguientes parámetros: el riesgo de incendios, protección contra la erosión, resistencia a la sequía, y de la cubierta vegetal Estado
2	Nombre Tipo Descripción Método PER	Area de matorral Indicador El indicador define la cubierta media de la superficie de matorral que representa un estado de degradación del bosque. El indicador contribuye a cuantificar el proceso de deforestación en un área definida, principalmente debido a los incendios repetidos Porcentaje total de superficie de matorral v/s total de superficie forestada Estado
3	Nombre Tipo Descripción PER	Banco de semillas Indicador El deterioro y la reducción del banco de semillas. Los bancos de semillas corresponden a propágulos viables (usualmente semillas en estado de latencia), que se encuentran generalmente enterradas en el suelo. Presión
4	Nombre Tipo Descripción PER	Invasión de malezas Indicador Es la aparición de toda planta de crecimiento espontáneo, sin nuestra intervención; Es decir que al conjunto de malas hierbas en un área se le denomina maleza. Presión
5	Nombre Tipo Descripción PER	Distribución de especies vegetales Indicador Se refiere al espacio que estas ocupan, así como a la forma en que lo hacen Estado
6	Nombre Tipo Fuente definición Descripción PER	Bosques Indicador blog nuestroclima El bosque nativo cumple funciones imprescindibles para el normal desempeño de la vida, cuando éste desaparece, el suelo queda a merced de las adversidades climáticas, generando daños irreparables. Surge entonces la posibilidad de generar un cambio en los sistemas productivos manteniendo y aumentando la superficie del monte nativo y extender sus beneficios a todo el sistema. Estado
7	Nombre Tipo Descripción PER	Diversidad biológica Indicador Variedad de formas de vida que existen en un lugar Estado
8	Nombre	Hábitat

	Tipo	
	Descripción	Es el espacio que reúne las condiciones adecuadas para que la especie pueda residir y reproducirse, perpetuando su presencia. Un hábitat queda así descrito por los rasgos que lo definen ecológicamente, distinguiéndolo de otros hábitats en los que las mismas especies no podrían encontrar acomodo.
	PER	Estado
9	Nombre	Fragmentación del bosque
	Tipo	Indicador
	Descripción	Este indicador mide la fragmentación del bosque. Esto se refiere a un proceso a nivel del paisaje en el que un hábitat específico es progresivamente sub-dividido en partes más pequeñas, geométricamente más compleja, y con fragmentos aislados, como resultado de las actividades naturales y humanas.
	PER	Estado
10	Nombre	Comunidades de plantas
	Tipo	Indicador
	Descripción	Grupo de organismos de distintas especies que conviven en un lugar y tiempo determinado
	PER	Estado
11	Nombre	Composición y estructura
	Tipo	Indicadores
	Descripción	Estructura: Dansereau (1957) define la estructura de la vegetación como “la organización en el espacio de los individuos que forman un stand (y por extensión un tipo de vegetación o una asociación vegetal)” y plantea que los “elementos primarios de la estructura son las formas de crecimiento, la estratificación y la cobertura”. Esta definición aún sigue siendo válida. Sin embargo, el término estructura de la vegetación se usa con diferentes significados. En el sentido más general es usado en todas las investigaciones biológicas como el concepto complementario de función; función relativa a los procesos fisiológicos y estructura de la anatomía y morfología de los objetos bajo estudio.(INE.GOB.MX). Composición se refiere a qué especies están presentes en una comunidad y lo anterior va a depender en principio de las características del sitio donde se desarrolla, ya que van a estar aquellas especies cuyos requerimientos en cuanto a condiciones y recursos sean satisfechos. Pero a su vez las especies interactúan, y esas interacciones pueden impedir que algunas especies muy similares entre si coexistan (principio de exclusión competitiva), o la presencia de un depredador puede hacer que dos competidoras se mantengan en baja densidad y por lo tanto no haya exclusión.
	PER	Estado
12	Nombre	Riqueza de especies
	Tipo	Indicador
	Descripción	Número de especies que conforman una comunidad
	PER	Estado
13	Nombre	Modificación en la composición de especies
	Tipo	Indicador
	Descripción	Se refiere al cambio en el grupo de individuos morfológica, fisiológica y biológicamente similares y diferentes de otros grupos

	PER	Presión
14	Nombre	Degradación de la vegetación
	Tipo	Indicador
	Descripción	Declive en la cantidad y/o calidad de la biomasa natural y disminución en la cobertura vegetal del terreno.
	PER	Presión
15	Nombre	Degradación de la biodiversidad
	Tipo	Indicador
	Descripción	Conjunto de procesos que deterioran la riqueza o variedad de los organismos vivos en el planeta
	PER	Presión
16	Nombre	Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)
	Tipo	Índice
	Descripción	Índice usado para estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación con base a la medición, por medio de sensores remotos instalados comúnmente desde una plataforma espacial, de la intensidad de la radiación de ciertas bandas del espectro electromagnético que la vegetación emite o refleja.
	PER	Estado
17	Nombre	Dec. en la biomasa
	Tipo	Indicador
	Descripción	Disminución de la materia orgánica en un sitio o lugar.
	PER	Presión
18	Nombre	Deforestación
	Tipo	Indicador
	Descripción	Destrucción del bosque por la acción humana o natural. Total deforested surface annually as a percentage of the total land surface
	PER	Estado
19	Nombre	Productividad Primaria
	Tipo	Indicador
	Descripción	Tasa de producción de tejido vegetal
	PER	Estado
20	Nombre	Riesgo de Incendio
	Tipo	Indicador
	Descripción	El riesgo de incendio es determinada por la composición especial de la vegetación y por lo tanto ambos TIC por la inflamabilidad y la capacidad de combustión y su capacidad de recuperación después de un incendio. Probabilidad de que ocurra un incendio y sus consecuencias
	PER	Estado
21	Nombre	Protección a la erosión de la vegetación
	Tipo	Indicador
	Descripción	El grado de protección que ofrece la vegetación contra las acciones erosivas de los diferentes agentes.
	PER	Estado
22	Nombre	Resistencia a la sequía

	Tipo	Indicador
	Descripción	La resistencia a la aridez está determinada por la capacidad de las especies vegetales para resistir el estrés grave o moderada de agua
	PER	Estado
23	Nombre	Tipo de vegetación
	Tipo	Indicador
	Descripción	Estructura espacial o modo de organización del conjunto de especies vegetales que se encuentran en un lugar determinado
	PER	Estado
24	Nombre	Cobertura vegetal
	Tipo	Indicador
	Descripción	El porcentaje de suelo cubierto por la vegetación
	PER	Estado
25	Nombre	Conservación de la biodiversidad
	Tipo	Indicador
	Descripción	Biodiversidad medida por las especies, riqueza, densidad y diversidad
	PER	Estado
26	Nombre	Resiliencia del ecosistema
	Tipo	Indicador
	Descripción	Describe el potencial de regeneración intrínseca de una comunidad vegetal o ecosistema a una perturbación endógena, es decir, la forma grado y el ritmo de recuperación de la estructura y función del ecosistema original.
	PER	Estado

Indicadores de suelo

1	Alcalinidad-Sodicidad	El pH es una medida de la calidad del suelo y puede indicar qué tan buena es la tierra que apoyará la cubierta vegetal. Un pH del suelo inferior a 6 puede reducir la actividad de los microorganismos y la descomposición de la materia orgánica y reducir la disponibilidad de nutrientes esenciales tales como calcio, magnesio y fósforo.
2	Cantidad de materia orgánica	La materia orgánica del suelo se deriva esencialmente de la planta residual y material animal, sintetizado por microbios y descompuesto bajo la influencia de la temperatura, la humedad y las condiciones ambientales del suelo. Desempeña un papel central en el mantenimiento de las funciones clave del suelo y es un determinante esencial de la resistencia a la erosión y la fertilidad del suelo. Disminución de la materia orgánica (OM) es un indicador de una calidad baja en la mayoría de los suelos. La pérdida de la MO es la degradación del suelo.
3	Capacidad de intercambio catiónico	Lacapacidad de un un suelo para adsorber cationes en forma intercambiable se mide mediante la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y se expresa en centimoles de cationes monovalentes adsorbidos por kg de suelo (cmol/kg) (equivalentes a los meq/100 g usados anteriormente como unidad) La CIC es un buen índice de la aptitud del suelo para almacenar nutrientes catiónicos esenciales: amayor CIC, mayor fertilidad de suelo
4	Compactación del suelo	Incremento en la densidad aparente del suelo, un empaquetamiento de las partículas más densas y una disminución de la porosidad, especialmente en lo referente a la macroporosidad
5	Concentración de macronutrientes en el suelo	Es la cantidad de macronutrientes esenciales para las plantas y que obtienen del suelo como el nitrógeno, fósforo, potasio calcio, magnesio y azufre.
6	Conductividad eléctrica del suelo	Sirve para medir la concentración total de sales en una solución
8	Consolidación	Proceso de reducción de volumen de los suelos finos cohesivos (arcillas y limos plásticos), provocado por la actuación de solicitaciones (cargas) sobre su masa y que ocurre en el transcurso de un tiempo generalmente largo. Producen asientos, es decir, hundimientos verticales, en las construcciones que pueden llegar a romper si se producen con gran amplitud.
9	Contenido de agua en el suelo	La capacidad de almacenamiento de agua del suelo, es el agua que está disponible en el suelo para las plantas, excluyendo por lo tanto el agua que se mueve rápidamente bajo la influencia de la gravedad, así como el agua unida por fuerzas fuertes a superficies minerales. La capacidad de almacenamiento depende tanto del volumen de suelo y el volumen de espacio de poro disponible que puede retener el agua contra las fuerzas gravitacionales. En el contexto de la desertificación este indicador está relacionado con las funciones de producción y la regulación de la calidad del suelo. Los cambios en la capacidad de almacenamiento de agua puede ser utilizado como una alerta temprana de la desertificación.
10	Densidad aparente del suelo	La densidad aparente del suelo se define como la masa de una unidad de volumen de suelo seco (105 ° C). Este incluye tanto sólidos como los poros, por lo que la densidad aparente refleja la porosidad total del suelo.

11	Estabilidad superficial del suelo	La estabilidad de la capa superficial del suelo se define por medio de la resistencia a la ruptura del propio suelo y sobre la base del grado de descomposición de partículas de suelo en agua. La resistencia a la fuerza de rotura ejercida por la gravedad, por el movimiento de los fluidos y por medios mecánicos sobre el suelo. Junto con la capacidad de infiltración y estabilidad de los agregados, influye erosionabilidad y la capacidad del suelo para almacenar agua. El grado de descomposición en el agua de partículas de una muestra de suelo inalterado es un indicador de la resistencia a la ruptura y al impacto de las gotas de lluvia y es también un factor determinante erosionabilidad del suelo.
12	Estructura del suelo	La estructura del suelo es considerado como una consecuencia de procesos formadores del suelo. Crecimiento de las plantas, la erosión del suelo y la resistencia de los ecosistemas están relacionados con ella. Cuando el suelo se expone en o cerca de la superficie del suelo, su estructura responde rápidamente a los factores ambientales tales como el clima (incluyendo el agua y los efectos de temperatura), y macro y micro-organismos. Los diferentes tipos de estructura tienen características físicas, químicas y propiedades morfológicas muy relacionados con el material y el clima primario.
13	Fósforo en el suelo	El fósforo es un elemento esencial para la vida. Las plantas lo necesitan para crecer y desarrollar su potencial genético. Lamentablemente, el fósforo no es abundante en el suelo. Y lo que es peor, mucho del fósforo presente en el suelo no esta en formas disponibles para la planta. La disponibilidad de este elemento depende del tipo de suelo, según este, una pequeña o gran parte del fósforo total puede estar “fijado” (no disponible) en los minerales del suelo.
14	Fragmentos de roca	Fragmentos de roca se clasifican de acuerdo a su diámetro a las siguientes categorías: guijarros (diámetro 2-75 mm), adoquines (diámetro de 75-250 mm), piedras (diámetro de 250-600 mm), cantos rodados (diámetro > 600 mm). La presencia de diversos tamaños de los fragmentos de roca en la superficie del suelo puede tener un efecto multifuncional en la protección de zonas montañosas para la desertificación.
15	Infiltración	La infiltración es el proceso por el cual el agua superficial se introduce en las capas internas del suelo debido básicamente a las fuerzas gravitatorias, aunque también intervienen fuerzas de tipo capilar así como otras de naturaleza más compleja como química, etc.
17	Material original	Se considera como un factor de formación del suelo ya que afecta a las propiedades del suelo, el crecimiento de la planta, la erosión del suelo y la resistencia de los ecosistemas. Cuando el material parental se expone en o cerca de la superficie del suelo, se somete a factores genéticos y ambientales tales como el clima (incluyendo el agua y efectos de la temperatura), macro y microorganismos que actúan durante más de un período de tiempo y el suelo se forma. Los suelos derivados tienen características físicas, químicas y las propiedades morfológicas estrechamente relacionadas con el material de base
18	Formación de costras sobre el suelo	Se trata de un depósito hecho en el suelo por medio de la cementación y precipitación de algunos elementos disueltos en agua, carbonatos de calcio principalmente o sílice. Esto hace que el endurecimiento de las formaciones superficiales en el suelo.
19	Pedregosidad	Hace referencia a la presencia en la superficie del suelo, o cerca de ésta de fragmentos rocosos o piedras lo bastante grandes como para limitar

		el uso de equipo mecanizado agrícola moderno.
20	Orientación de la pendiente	Este aspecto afecta el microclima de una zona mediante la regulación del ángulo y la duración en la que los rayos del sol que inciden sobre la superficie del suelo.
21	Permafrost	El permafrost puede tener diferentes características y formas. Pueden ser suelos orgánicos ricos o pueden ser arenosos y rocosos. Podrían ser incluso roca sólida. Podrían contener agua congelada o ser relativamente secos. Pero todos los permafrost tienen una característica en común. Están congelados.
22	Permeabilidad	Es la propiedad que tiene el suelo de transmitir el agua y el aire y es una de las cualidades más importantes que han de considerarse para la piscicultura. Un estanque construido en suelo impermeable perderá poca agua por filtración.
23	Potasio en el suelo	El potasio es uno de los tres nutrientes minerales que necesitan las plantas en mayor cantidad. Muchos cultivos como por ejemplo el banano, el tomate y la papa requieren mas potasio que cualquier otro nutriente mineral. Las plantas absorben el potasio que se encuentra en la solución del suelo en forma del catión K^+ .
24	Profundidad de suelo	Es el material no consolidado inmediatamente después de la superficie de la tierra que sirve como medio natural para las plantas en crecimiento. La profundidad del suelo define el espacio de la raíz y el volumen de suelo, desde donde las plantas cumplen con su demanda de nutrientes y agua.
25	Drenaje	El drenaje se refiere a la rapidez con que el exceso de agua sale del suelo por escurrimiento o drenaje interno. El drenaje puede ser utilizado para describir el descendente y también el movimiento ascendente del agua en el perfil del suelo.
26	Salinidad	Se refiere a la cantidad de sales en el suelo y puede ser estimada por la medición de la conductividad eléctrica (CE) de una solución extraída del suelo. La sal es un compuesto químico formado por iones con carga negativa enlazados a iones con carga positiva. Un fertilizante es una sal.
27	Textura	La textura del suelo es la proporción relativa de arena, limo y arcilla en un suelo. La arena es la fracción de 2,0 a 0,05 mm del suelo, y de acuerdo con el sistema USDA se subdivide en cinco clases (arena muy gruesa 2.0-1.0 mm, arena gruesa 1.0-0.5 mm, arena media 0.5-0.25 mm, arena fina 0.25-0.1 mm y arena muy fina 0,1-0,05 mm). El limo es la fracción de 0,05 a 0,002 mm del suelo, y la arcilla es la fracción del suelo que tiene un diámetro inferior a 0,002 mm. La textura cambia lentamente con el tiempo.
28	Tipo de suelo	Es posible clasificarlos según su funcionalidad y otra de acuerdo a sus características físicas.
29	Decrecimiento en la profundidad del suelo	Disminución del espacio en el que las raíces de las plantas comunes pueden penetrar sin mayores obstáculos, con vistas a conseguir el agua y los nutrimentos indispensables.
30	Degradación física del suelo	Pérdida de la calidad de la estructura del suelo
31	Degradación química del suelo	Modificación en la composición química del suelo. Esta modificación puede producirse por la presencia de sustancias extrañas a los componentes habituales del suelo, o por una modificación en la concentración de las mismas cuando éstas son habituales.

32	Degradación biológica del suelo	La degradación biológica del suelo consiste en la pérdida de materia orgánica por disminución de aportes vegetales, y por el aumento de la tasa de mineralización
33	Medida de la erosión del suelo	Datos sobre la erosión de suelo y los factores que la controlan
34	Índice de pérdida del suelo	(USLE - Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo) Permite determinar la capacidad del suelo para realizar sus funciones de producción biológica, protección ambiental y sustento de la salud humana. Se trata, por tanto, de un parámetro multifuncional
35	Índice de calidad del suelo	(productivo, ecológico, ambiental, sanitario, etc.) que resulta útil para evaluar la intensidad con la que los suelos, de forma natural, alcanzan un estado de equilibrio como consecuencia de la lenta actuación de los factores formadores y de los procesos edafogenéticos; o bien que nos permita evaluar el grado de degradación de los mismos
36	Índice de estabilidad del suelo	Permite determinar la capacidad del suelo para mantener su disposición de huecos y del espacio sólido frente a las fuerzas disruptivas naturales o antropogénicas
37	Potencial de salinización	Propensión a sufrir procesos de acumulación de sales solubles en el perfil, generando una pérdida de su potencial productivo
38	Índice de masa en el suelo	Se refiere al volumen de suelo

Indicadores de aguas subterráneas

1	Nombre	Capa freática
	Tipo	Indicador
	Descripción	Es una superficie de contacto irregular, entre las zonas de saturación y aireación, que siempre sigue el contorno general del terreno y que se aproxima más a la superficie en el fondo de los valles; en las tierras pantanosas o muy húmedas está prácticamente en la superficie. Bajo el nivel freático se halla el agua subterránea
	PER	Estado
2	Nombre	Química del agua
	Tipo	Indicador
	Descripción	Se refiere a la cantidad y tipo de sustancias que contiene; esta puede ser modificada por factores externos- (acción antrópica básicamente).
	PER	Estado
3	Nombre	Conductividad eléctrica
	Tipo	Indicador
	Descripción	La conductividad eléctrica refleja la capacidad del agua para conducir corriente eléctrica, y está directamente relacionada con la concentración de sales disueltas en el agua.
	PER	Estado
4	Nombre	Salinización del agua
	Tipo	Indicador
	Descripción	Aumento en el contenido de sal en el agua
	PER	Presión
5	Nombre	Sobreexplotación del acuífero
	Tipo	Indicador
	Descripción	Se produce cuando la extracción del agua del subsuelo es mayor a la infiltración o recarga natural, se mide por cambio en el nivel del agua subterránea
	PER	Presión
6	Nombre	Extracción
	Tipo	Indicador
	Descripción	Volumen de agua que se saca del acuífero
	PER	Estado
7	Nombre	Escasez de agua
	Tipo	Indicador

	Descripción	Punto en el que, el impacto agregado de todos los usuarios, bajo determinado orden institucional, afecta al suministro o a la calidad del agua, de forma que la demanda de todos los sectores, incluido el medioambiental, no puede ser completamente satisfecha.
	PER	Presión
8	Nombre	Calidad del agua
	Tipo	Indicador
	Descripción	Aptitud del agua para los usos beneficiosos que se ha venido dedicando en el pasado, esto es, para bebida del hombre, y de los animales para el soporte de una vida sana, para el riego de cultivos y para recreación.
	PER	Estado
9	Nombre	Número de bombas de extracción
	Tipo	Indicador
	Descripción	Cantidad de aparatos con los que se se puede trasladar agua a niveles superiores.
	PER	Estado
10	Nombre	Diversificación en la gestión del uso agua
	Tipo	Indicador
	Descripción	Variedad de formas de administración, utilización, y mejoras tecnológicas con respecto al recurso hídrico
	PER	Estado
11	Nombre	Eficiencia en el uso
	Tipo	Indicador
	Descripción	Se denomina uso eficiente del agua a la optimización de su aprovechamiento y de la infraestructura asociada al mismo, con la participación activa de los usuarios y con alto sentido de equidad
	PER	Presión
12	Nombre	Cambios en la profundidad de agua subterránea
	Tipo	Indicador
	Descripción	Cambios en los niveles del agua subterránea. Mide el impacto que el uso de la tierra está ejerciendo sobre el recurso natural de las aguas subterráneas
	PER	Presión
13	Nombre	Regulación hidrológica superficial
	Tipo	Indicador
	Descripción	Proporción de las aguas superficiales de la cuenca reguladas de manera artificial
	PER	Presión y respuesta
14	Nombre	Área irrigada

	Tipo	Indicador
	Descripción	Área de la tierra de regadío como porcentaje de la superficie total de tierras cultivables
	PER	Respuesta
15	Nombre	Intensidad de irrigación e intrusión marina
	Tipo	Indicador
	Descripción	La presencia de la intrusión marina en los acuíferos de las zonas costeras
	PER	Estado
16	Nombre	Potencial de riego
	Tipo	Indicador
	Descripción	Relación entre regadío y tierras de regadío
	PER	Presión-fuerzas directrices
17	Nombre	Almacenamiento de agua por escorrentía
	Tipo	Indicador
	Descripción	El volumen de agua de escorrentía almacenada en el suelo o en pequeños estanques.
	PER	Respuesta
18	Nombre	Consumo de agua por sector
	Tipo	Indicador
	Descripción	Consumo anual de agua de uso doméstico, uso de la industria, el uso de la agricultura y otros sectores expresadas en metros cúbicos por año y como porcentaje del consumo total de agua
	PER	Presión-Fuerzas directrices
19	Nombre	Fuga de agua
	Tipo	Indicador
	Descripción	El porcentaje de agua perdida por fugas en la red de distribución de agua.
	PER	Presión-fuerzas directrices
20	Nombre	Reciclaje de aguas residuales
	Tipo	Indicador
	Descripción	Volumen total de agua reciclada o reutilizada anualmente por cada sector (doméstico, comercial, industrial, rural) en relación con el consumo total anual de agua de cada sector.
	PER	Respuesta
21	Nombre	Disponibilidad de agua
	Tipo	Indicador
	Descripción	Describe la disponibilidad de agua para el riego o el consumo por persona y por año en una región
	PER	Estado

Indicadores de aguas superficiales

Nombre	Cambios en la red de drenaje
Tipo	Indicador
Descripción	Variación en el conjunto de canales, ríos, lagos y arroyos existentes en una cuenca hidrográfica
PER	Estado
Nombre	Consumo en riego
Tipo	Indicador
Descripción	Cantidad de agua que se usa para riego
PER	Presión
Nombre	Densidad de drenaje
Tipo	Indicador
Descripción	
PER	Una medida de la longitud del canal por unidad de superficie de la cuenca de drenaje Estado
Nombre	Mineralización y salinización
Tipo	
Descripción	se expresa como la cantidad de sólidos disueltos por kilo de agua o el número de gramos de sales inorgánicas disueltas en un kilo de agua (g/l)
PER	Presión
Nombre	Carga de sedimentos
Tipo	Indicador
Descripción	Los sedimentos que transporta una corriente de agua son consecuencia natural de la degradación del suelo, puesto que el material procedente de la erosión llega a las corrientes a través de tributarios menores, por la capacidad que tiene la corriente de agua para transportar sólidos, también por movimientos en masa, o sea, desprendimientos, deslizamientos y otros.
PER	Presión
Nombre	Presencia de embalses
Tipo	Indicador
Descripción	Existencia de acumulación de agua producida por una obstrucción en el lecho de un río o arroyo que cierra parcial o totalmente su cauce.
PER	Presión
Nombre	Cuerpos de aguas
Tipo	Indicador

Descripción	Es una masa o extensión de agua, tal como un lago, mar u océano que cubre parte de la Tierra. Algunos cuerpos de agua son artificiales, como los estanques, aunque la mayoría son naturales.
PER	Estado
Nombre	Trasvases
Tipo	Indicador
Descripción	Porcentaje de volumen de agua que es transferida desde fuentes externas en relación al consumo local (siendo esta externa a la cuenca local)
PER	Presión

Indicadores Sociales

1	Nombre	Características demográficas
	Tipo	Indicador
	Descripción	Cualquier característica de la población que pueda ser medida o contada es susceptible al análisis demográfico. El sexo, la edad, el estado marital, el nivel de instrucción y la ocupación
	PER	Estado
	2	Nombre
		Tasa de crecimiento de población
		Tipo
		Descripción
		La tasa media anual de variación del tamaño de la población durante un período determinado
		PER
		Presión
	3	Nombre
		Índice de pobreza humana
		Tipo
		Indice
		Descripción
		El índice es mejor que un simple indicador. La pobreza es cuestión multidimensional y un concepto relativo, y por lo tanto diferentes factores y diferentes expectativas necesita ser tenido en cuenta en diferentes países
		PER
		Presión-fuerzas directrices
4	Nombre	Composición de la familia
	Tipo	Indicador
	Descripción	Componentes del grupo familiar
5	PER	Estado
	Nombre	Diversidad étnica religiosa
		Tipo
		Indicador
	Descripción	Existencia de diferentes grupos que poseen distintas religiones
		PER
		Estado

6	Nombre	Derechos de propiedad
	Tipo	Indicador
	Descripción	El derecho que tiene una persona o grupo de persona sobre la tierra
	PER	Estado
7	Nombre	Condición de la vivienda
	Tipo	Índice
	Descripción	Estado de los materiales de las viviendas en que habitan los hogares
	PER	Estado
8	Nombre	Colecta de leña
	Tipo	Indicador
	Descripción	Recolección de madera para hacer fuego en estufas, chimeneas o cocinas. Es una de las formas más simple de biomasa usada mayormente para calefactar y cocinar. Es extraída de los árboles.
	PER	
9	Nombre	Adaptación al medio ambiente
	Tipo	Indicador
	Descripción	Es el proceso por el cual el organismo se va haciendo capaz de sobrevivir en determinadas condiciones ambientales
	PER	Respuesta
10	Nombre	Comportamiento del campo para los campesinos
	Tipo	Indicador
	Descripción	Se refiere a si han observado síntomas de degradación en sus campos, y a la conducta de los ciclos regulares de las plantaciones
	PER	Estado
11	Nombre	Comprensión de la desertificación por parte de los campesinos
	Tipo	Indicador
	Descripción	Entendimiento y comprensión de los síntomas de la desertificación por parte de los campesinos y agricultores
	PER	Estado
12	Nombre	Relaciones humanas amigos y vecinos
	Tipo	Indicador
	Descripción	Multitud de interacciones sociales, reguladas por normas sociales, entre dos o más personas, teniendo cada una posición social y realizando un papel social.
	PER	Estado
13	Nombre	Participación social
	Tipo	Indicador
	Descripción	Es la intervención de los ciudadanos en la toma de decisiones respecto al manejo de los recursos y las acciones que tienen un impacto en el desarrollo de sus comunidades.
	PER	Estado

14	Nombre	Conocimientos locales tradicionales
	Tipo	Indicador
	Descripción	Un cuerpo acumulativo de conocimientos, prácticas y creencias que evoluciona a través de procesos adaptativos y es transmitido mediante formas culturales de una generación a otra acerca de las relaciones entre seres vivos, incluyendo los seres humanos, y de los seres vivos con su medio ambiente.
15	PER	Estado
	Nombre	Presencia de expertos en desertificación
	Tipo	Indicador
16	Descripción	Existencia de expertos en desertificación en la zona
	PER	Estado
	Nombre	Nivel de educación de los adultos
17	Tipo	Indicador
	Descripción	La proporción de la población adulta de 20 años y más que han obtenido un certificado de finalizar la escuela secundaria.
	PER	Estado
18	Nombre	Despoblación causada por degradación
	Tipo	Indicador
	Descripción	The degradation of the natural resources is one of the causes of depopulation of rural areas and abandonment of traditional management practices.
19	PER	Presión
	Nombre	Índice de Gini
	Tipo	Índice
20	Descripción	A modo de resumen es la medida en que la distribución real de los ingresos, los gastos de consumo, o una variable relacionada, difiere de una distribución hipotética en la que cada persona recibe un porcentaje idéntico
	PER	Estado
	Nombre	Índice de vejez
21	Tipo	Indicador
	Descripción	Relación entre la población mayor de 65 años y la población menor de 5.
	PER	Estado
22	Nombre	Presencia de ONG's
	Tipo	Indicador
	Descripción	El número de organizaciones no gubernamentales que representan a uno o más grupos principales involucrados en el desarrollo, implementación y / o seguimiento de las estrategias nacionales de desarrollo sostenible.
23	PER	Estado

Indicadores Económicos

1	Nombre	Aplicación de Fertilizantes
	Tipo	Indicador
	Descripción	Cantidad de fertilizante por superficie
	PER	Presión
2	Nombre	Número de agricultores
	Tipo	Indicador
	Descripción	Se refiere al número de personas que desarrollan la actividad agrícola
	PER	Estado
3	Nombre	Mala gestión agrícola
	Tipo	Indicador
	Descripción	Conjunto de actividades de labranza que conducen a la degradación ambiental
	PER	Estado
4	Nombre	Tipo de cultivos
	Tipo	Indicador
	Descripción	
	PER	
5	Nombre	Rotación de los cultivos
	Tipo	Indicador
	Descripción	Alternar plantas de diferentes familias y con necesidades nutritivas diferentes en un mismo lugar durante distintos ciclos, evitando que el suelo se agote y que las enfermedades que afectan a un tipo de plantas se perpetúen en un tiempo determinado.
	PER	Respuesta
6	Nombre	Estructura agrícola
	Tipo	Indicador
	Descripción	Se entiende como el resultado de las relaciones políticas, económicas, sociales, en un contexto de instituciones y normas que históricamente han gobernado el acceso y el uso de la tierra como recurso productivo.
	PER	Estado
7	Nombre	Prácticas agrícolas
	Tipo	Indicador
	Descripción	Conjuntos de normas sobre métodos de producción agrícola que deben ser implementadas a nivel de las granjas, y que son promovidas por muchos gobiernos, comerciantes, exportadores, productores, el mundo académico y otros actores en el sector agrícola en todo el mundo.
	PER	Respuesta
8	Nombre	Tipo de trabajo agrícola
	Tipo	Indicador
	Descripción	Se refiere a una amplia gama de actividades relacionadas con la labranza de la tierra, la horticultura y la cría de animales.
	PER	Estado
9	Nombre	Escasez de tierras
	Tipo	Indicador
	Descripción	Es la insuficiencia de tierras para satisfacer las necesidades en las sociedades humanas en distintos aspectos especialmente el alimentario.

	PER	Estado
10	Nombre	Actividades agrícolas
	Tipo	Indicador
	Descripción	Todas las actividades económicas que abarca este sector
	PER	Estado
11	Nombre	Índice de mecanización
	Tipo	Índice
	Descripción	Número y existencia de vehículos de motor, máquinas e instalaciones utilizadas por la explotación agraria, expresada en términos de caballos de fuerza (HP) por hectárea de la superficie agrícola utilizada
	PER	Presión
12	Nombre	Superficie cultivada
	Tipo	Indicador
	Descripción	Área destinada a cultivos
	PER	Presión
13	Nombre	Intensidad ganadera o capacidad de pastoreo
	Tipo	Indicador
	Descripción	Se define como el producto de la carga instantánea por el tiempo de ocupación.
	PER	Presión
14	Nombre	Composición ganadera
	Tipo	Indicador
	Descripción	Se refiere al conjunto de animales , sobre todo mamíferos, para la producción de carne y sus derivados que serán utilizados en la alimentación humana
	PER	Estado
15	Nombre	Rendimiento ganadero
	Tipo	Indicador
	Descripción	Es la producción de ganado dividida entre la superficie
	PER	Presión
16	Nombre	Población ganadera
	Tipo	Indicador
	Descripción	Número de cabezas de ganado
	PER	Estado
17	Nombre	Tipo de uso de suelo
	Tipo	Indicador
	Descripción	El tipo de uso de la tierra se puede dividir en dos categorías: (a) mayor uso de la tierra, y (b) tipo de utilización de la tierra. El uso importante de la tierra es una categoría amplia que define los tipos de uso de la tierra en general, como agricultura, los pastizales, bosques, áreas recreativas, etc .
	PER	Presión
18	Nombre	Evolución en el uso de suelo
	Tipo	Indicador
	Descripción	La historia del uso de la tierra en un área, prestando atención a los cambios de uso del suelo, sobre todo de la agricultura / pastos secos a la agricultura de riego y de bosques a usos agrícolas.
	PER	Presión
19	Nombre	Expansión urbana
	Tipo	Indicador
	Descripción	La expansión incontrolada de los asentamientos urbanos en áreas semi-naturales y agrícolas, a menudo a lo largo de la costa.

	PER	Presión
20	Nombre	Tierras en abandono
	Tipo	Indicador
	Descripción	Tierras abandonadas por la agricultura. El objetivo de este indicador es medir la importancia del proceso de abandono de la tierra en los procesos de la evolución del uso del suelo.
	PER	Estado
21	Nombre	Intensidad en el uso de suelo
	Tipo	Indicador
	Descripción	Un pedazo de tierra, independientemente de su tamaño, que se caracteriza por un uso particular. Este uso se asocia a un determinado tipo de gestión que se dicta principalmente por el clima y los cambios debido a factores ambientales, sociales, económicos, tecnológicos y políticos. Dependiendo del tipo de gestión o de intensidad de uso de la tierra, los recursos de la tierra están sujetos a un determinado grado de estrés.
	PER	Presión
22	Nombre	Incremento en la demanda de alimentos
	Tipo	Indicador
	Descripción	Aumento en la cantidad de alimentos requeridos por un consumidor o conjunto de consumidores
	PER	Presión
23	Nombre	Ingresos
	Tipo	Indicador
	Descripción	Ingreso neto de la familia
	PER	Estado
24	Nombre	Costo distancia-conectividad
	Tipo	Indicador
	Descripción	Es el valor monetario del transporte de los bienes y servicios
	PER	Estado
25	Nombre	Productividad forestal
	Tipo	Indicador
	Descripción	La producción primaria neta (PPN) de un bosque es un indicador muy adecuado de la productividad de los bosques. Consiste en la acumulación de madera del tronco de los árboles en pie, más el crecimiento de todos los otros tejidos o componentes, incluyendo aquellas que son de corta duración y las raíces.
	PER	Presión
26	Nombre	Empleos paralelos
	Tipo	Indicador
	Descripción	El porcentaje de los ingresos fuera de la explotación, como porcentaje de los ingresos totales de la familia (renta agraria familiar además de los ingresos no agrícolas)
	PER	Estado
27	Nombre	Protección contra incendios
	Tipo	Indicador
	Descripción	Infraestructuras de protección contra incendios de bosques y recursos naturales gestionados
	PER	Respuesta
28	Nombre	Gestión forestal de calidad

	Tipo Descripción PER	Indicador Porcentaje de bosques bajo planes de manejo forestal. Respuesta
29	Nombre	Índice de gestión de la calidad
	Tipo Descripción	Índice Gestión del uso de la tierra se ve afectada por el clima y los cambios bajo la influencia de los factores ambientales, sociales, económicos, tecnológicos y políticos. Hace hincapié en la tierra debido a las decisiones de gestión pueden exacerbar la desertificación.
	PER	Respuesta
30	Nombre	Agricultura orgánica
	Tipo Descripción	Indicador Zona con la agricultura ecológica como porcentaje de la superficie agrícola total
	PER	Estado
31	Nombre	Regeneración de suelos afectados
	Tipo Descripción	Indicador Según la Convención, los principales procesos incluidos en planes nacionales de acción que lleva a la desertificación son la erosión, acidificación, salinización y contaminación por metales pesados. Los suelos afectados por la acidificación, salinización o contaminación por metales pesados son considerados aquí como zonas afectadas sensibles a la desertificación. Tales áreas pueden ser recuperados mediante la aplicación de diversas técnicas dependiendo del proceso de degradación.
	PER	Estado
32	Nombre	Medidas de control de la erosión de suelo
	Tipo Descripción	Indicador Las medidas adoptadas para reducir la erosión del suelo causada por varios factores, como la escorrentía superficial, las operaciones de labranza, viento, etc
	PER	Respuesta
33	Nombre	Agricultura sostenible
	Tipo Descripción	Indicador La agricultura sostenible se define como un sistema agrícola en evolución hacia una mayor utilidad humana, el aumento de la eficiencia de uso de los recursos, el agotamiento mínimo de recursos no renovables, y la interacción del medio ambiente favorable para los seres humanos y para la mayoría de las otras especies.
	PER	Estado
34	Nombre	Presencia de terrazas
	Tipo Descripción	Indicador Las terrazas son construcciones realizadas principalmente en las zonas montañosas para reducir las pérdidas de erosión hídrica de los suelos erosionables cultivadas y la conservación del agua.
	PER	Estado
35	Nombre	Área de suelo marginal empleado
	Tipo Descripción	Indicador Área de suelo cultivado que es menos productiva, o más propensos a ser afectados por los procesos de degradación.

	PER	Estado
36	Nombre	Dirección de labranza
	Tipo	Indicador
	Descripción	El suelo puede ser cultivado en varias direcciones paralelas o perpendiculares a las líneas de contorno o en líneas oblicuas en función de la inclinación de la pendiente, el tamaño de la explotación y la forma granja. Cuando las condiciones fisiográficas permiten el movimiento de tractor a lo largo de las líneas de contorno, a continuación, se reduce el desplazamiento del suelo. En las zonas montañosas con pendientes pronunciadas, donde la agricultura de contorno es imposible, el suelo se ara en direcciones perpendiculares a las curvas de nivel o en las líneas oblicuas que favorece la erosión de labranza.
	PER	Presión
37	Nombre	Profundidad de la labranza
	Tipo	Indicador
	Descripción	Profundidad de labranza corresponde a la profundidad que un laboreo se implementa como arado de vertedera, cultivador, arado de cincel, rastra, etc. Cuanto más profundo se ara el suelo mayor es el desplazamiento del suelo en la dirección de la labranza.
	PER	Presión
38	Nombre	Operaciones de labranza
	Tipo	Indicador
	Descripción	Operaciones de labranza incluye las prácticas de cultivo realizadas por los diferentes implementos de labranza como el arado de vertedera, cincel, duckfoot cincel, rastra, etc. Se considera como la principal causa de la degradación del suelo y la desertificación en zonas montañosas cultivadas en la región mediterránea. Hay varios factores que influyen en la erosión de labranza como el tipo de instrumento de labranza, arado de profundidad, velocidad de las ruedas del tractor, el contenido de humedad del suelo, la pendiente del terreno, la dirección de operaciones de labranza, etc
	PER	Presión
39	Nombre	Pastoreo
	Tipo	Indicador
	Descripción	Es la extracción de plantas o partes de las mismas por los herbívoros para alimentarse. En los ecosistemas de pastizales, el pastoreo constituye el nexo de unión entre el principal (planta) y la producción secundaria (animal).
	PER	Presión
40	Nombre	Control del pastoreo
	Tipo	Indicador
	Descripción	La regulación de la cantidad y tipo de ganado, así como de la temporada y la duración de su pastoreo.
	PER	Respuesta
41	Nombre	Intensidad agrícola
	Tipo	Indicador
	Descripción	Este indicador es una medida de la presión sobre la tierra, lo que contribuye a la evaluación del riesgo de desertificación de un área.
	PER	Presión
42	Nombre	Incorporación de empresas eco-turísticas
	Tipo	Indicador

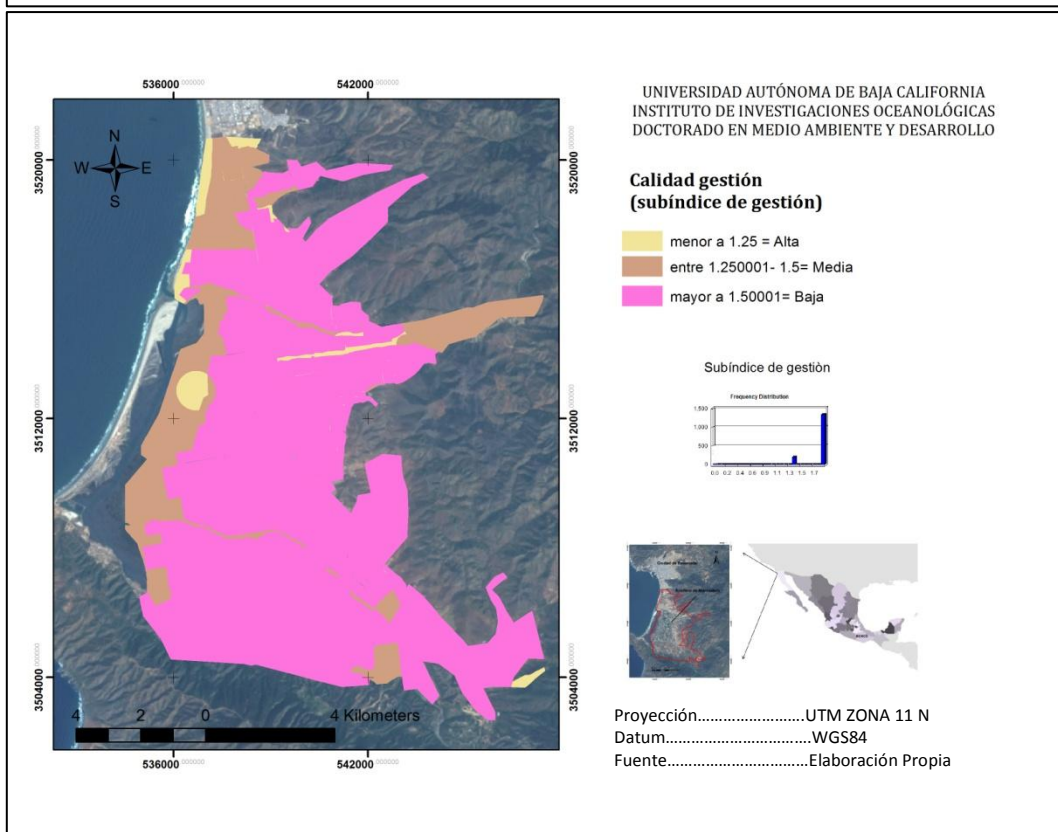
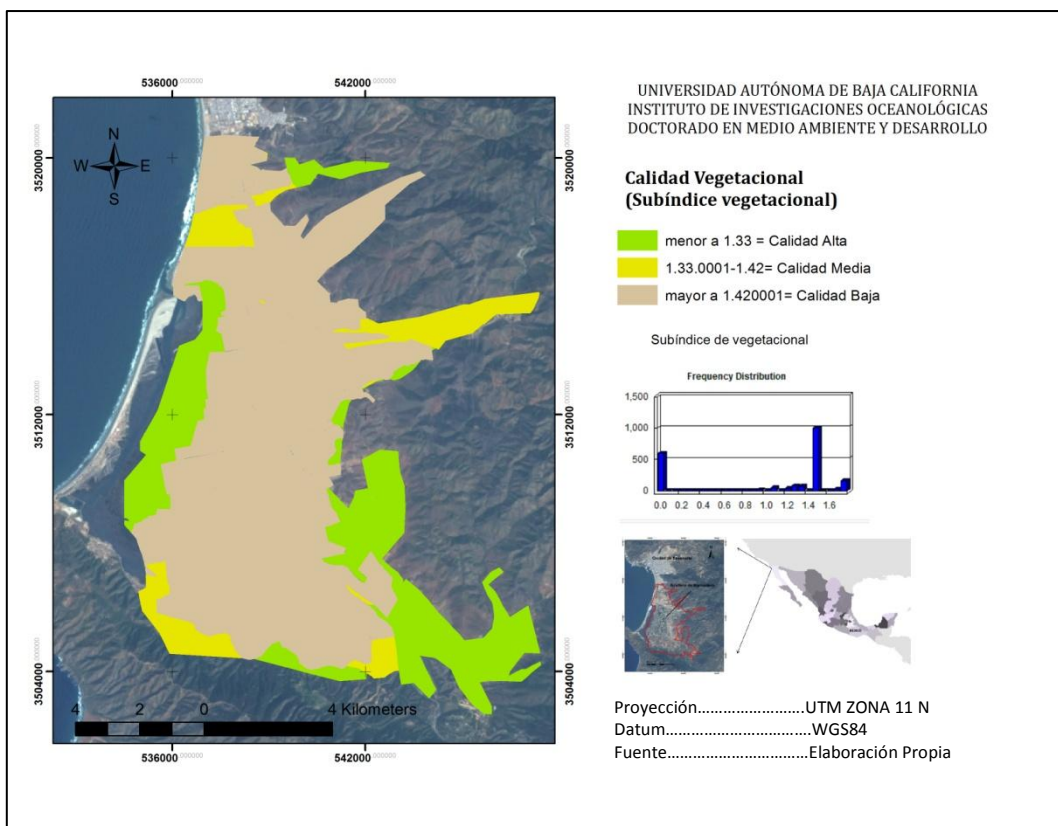
	Descripción PER	Número de empresas eco-turisticas certificadas con respecto al total Respuesta
43	Nombre	Contribución del turismo al PIB local
	Tipo	Indicador
	Descripción	El indicador muestra la importancia del sector turístico para la economía local, dando una medida de su contribución al PIB local.
	PER	Estado
44	Nombre	Cambios en el turismo
	Tipo	Indicador
	Descripción	El indicador muestra cómo los destinos turísticos han cambiado en los últimos 10 años en el área específica.
	PER	Estado
45	Nombre	Intensidad turística
	Tipo	Indicador
	Descripción	Número de pernoctaciones de los turistas por kilómetro cuadrado por año, y en temporada alta.
	PER	Presión
46	Nombre	Índice de empleo
	Tipo	Indicador
	Descripción	El índice de empleo proporciona una medida de la cantidad de personas empleadas en relación con la población activa total
	PER	Estado
47	Nombre	Producto Interno Bruto per cápita
	Tipo	Indicador
	Descripción	Niveles de PIB per cápita se obtiene dividiendo el PIB anual o período a precios corrientes de mercado por población. Una variación del indicador podría ser el crecimiento del PIB real per cápita que se obtiene mediante el cálculo de la tasa anual de crecimiento del PIB o el período de constantes fundamentales de los productores o precios de adquisición dividido por la población correspondiente.
	PER	Estado
48	Nombre	Tasa de desempleo
	Tipo	Índice
	Descripción	La tasa de desempleo es la proporción de personas desempleadas para la fuerza de trabajo total.
	PER	Presión
49	Nombre	Valor agregado por sector
	Tipo	Indicador
	Descripción	El valor agregado por unidad de mano de obra para la agricultura, la industria y los servicios.
	PER	Estado

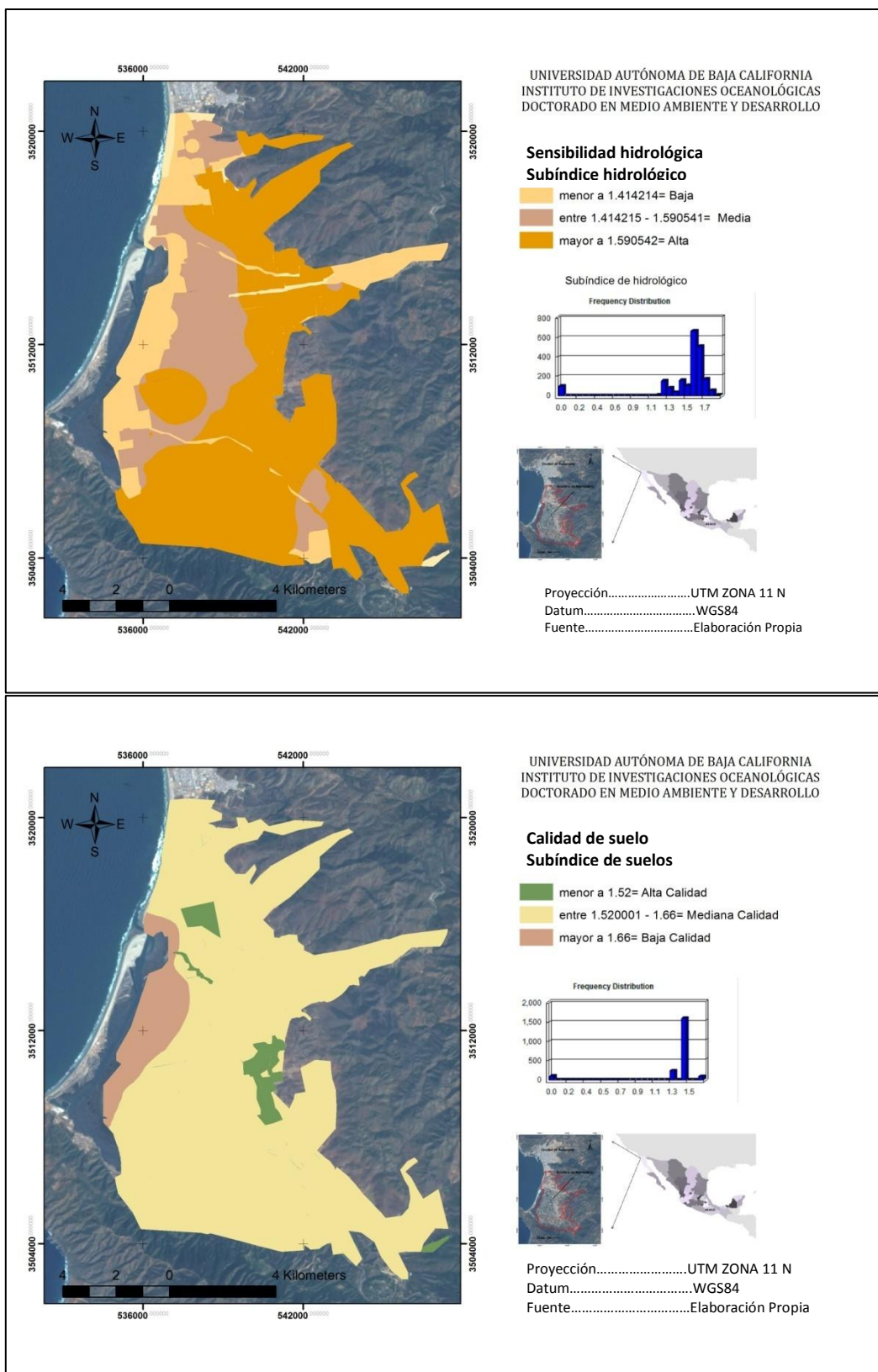
Indicadores Políticos

1	Nombre	Aplicación de la política
	Tipo	Indicador
	Descripción	La aplicación de políticas se refiere a la aplicación de las normas existentes en materia de protección del medio ambiente
2	PER	Respuesta
	Nombre	Proyectos en desertificación
	Tipo	Indicador
3	Descripción	Presencia de proyectos destinados a prevenir, mitigar y restaurar zonas degradadas
	PER	Respuesta
	Nombre	Agenda Local 21
4	Tipo	Indicador
	Descripción	Porcentaje de municipalidades que cuentan con Agenda Local 21
	PER	Respuesta
5	Nombre	Reducción de las inundaciones
	Tipo	Indicador
	Descripción	Existencia de medidas para disminuir el riesgo a las inundaciones
6	PER	Respuesta
	Nombre	Planes hidrológicos y forestales
	Tipo	Indicador
7	Descripción	La extensión de la zona que es o ha sido objeto de acciones en el marco de uno o más planes de restauración hidrológica y forestal. Los objetivos de estas medidas son la obtención de sistemas de protección y conservación del agua y el suelo para evitar la degradación del medio ambiente
	PER	Respuesta
	Nombre	Vigilancia y seguimiento
8	Tipo	Indicador
	Descripción	Existencia de un sistema que garantiza el cumplimiento de las indicaciones y medidas protectoras y correctoras establecidas en los planes, programas y proyectos
	PER	Respuesta
9	Nombre	Características del gobierno local
	Tipo	Indicador

	Descripción	Se refiere a la evaluación de las siguientes características de los gobiernos locales: 1. Liderazgo participativo 2. Comunicación eficaz 3. Negociación y manejo de conflictos 4. Trabajar en equipo 5. Gobierno participativo 6. Planear las acciones de gobierno, y orientar las acciones de acuerdo a los planes 7. Incrementar los recursos financieros municipales 8. Promover el desarrollo y mejorar las condiciones de vida de los habitantes y sus comunidades 9. Promover la cooperación y la asociación entre municipios. 10. Primero lo primero: el manejo adecuado de la agenda del presidente municipal
	PER	Estado
8	Nombre	Eficiencia en la administración pública
	Tipo	Indicador
	Descripción	Eficiencia es la capacidad de obtener los mayores resultados con la mínima inversión
	PER	Respuesta
9	Nombre	Conflictos nacionales e internacionales
	Tipo	Indicador
	Descripción	Discrepancias en la forma de actuar de los gobiernos, o con la toma de decisiones
	PER	Estado
10	Nombre	Áreas protegidas
	Tipo	Indicador
	Descripción	Este indicador muestra el área de tierra protegida. Expresado como porcentaje del total de tierras.
	PER	Respuesta
11	Nombre	Reciclaje de residuos
	Tipo	Indicador
	Descripción	Porcentaje de residuos sólidos reciclados. El volumen de los residuos que se recicla basado en el volumen efectivamente generada en la fuente per cápita.
	PER	Respuesta

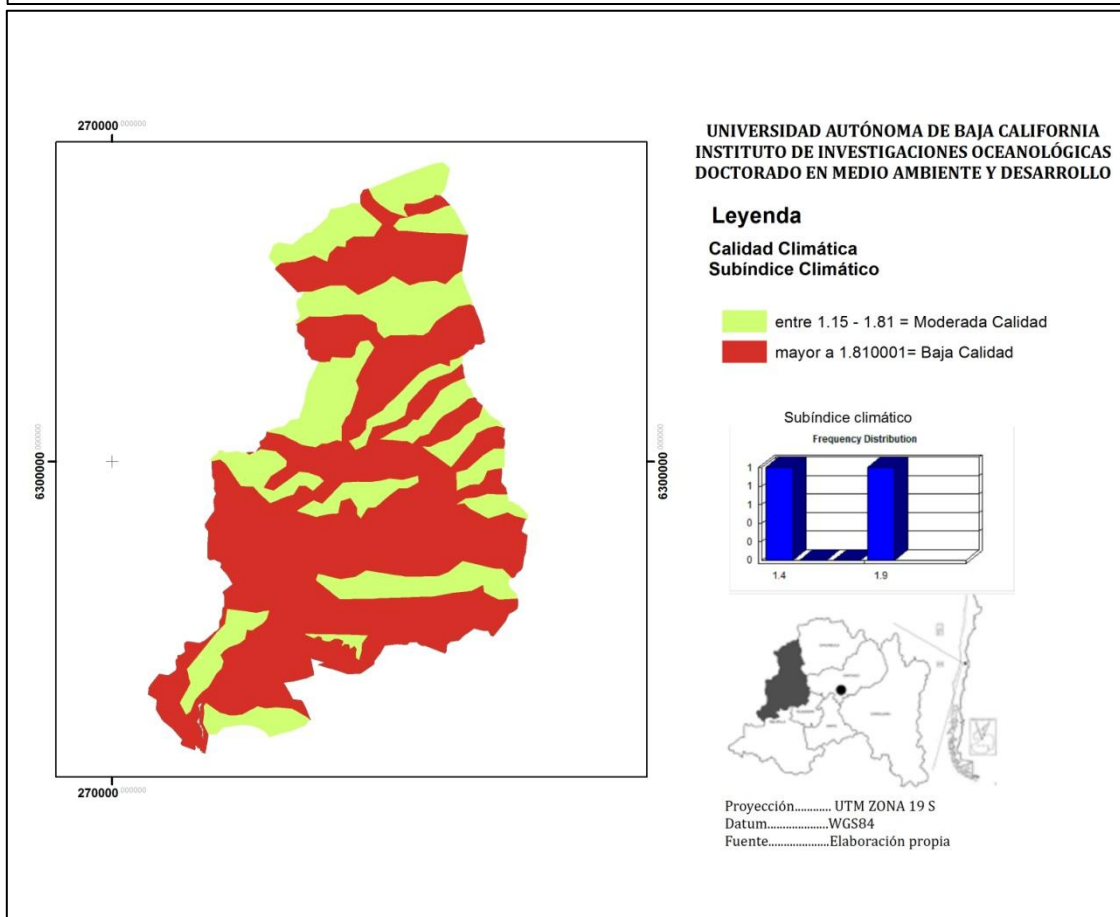
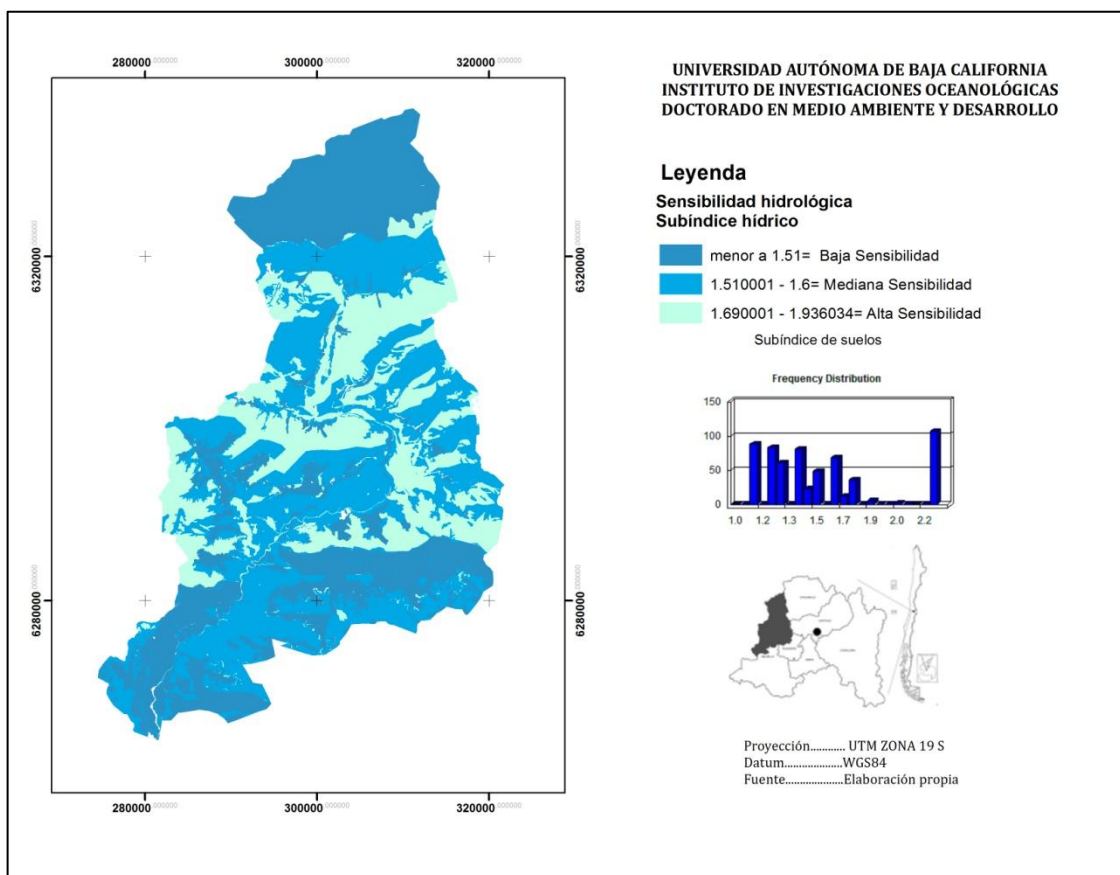
ANEXO 4: SUBÍNDICES MANEADERO, MEXICO

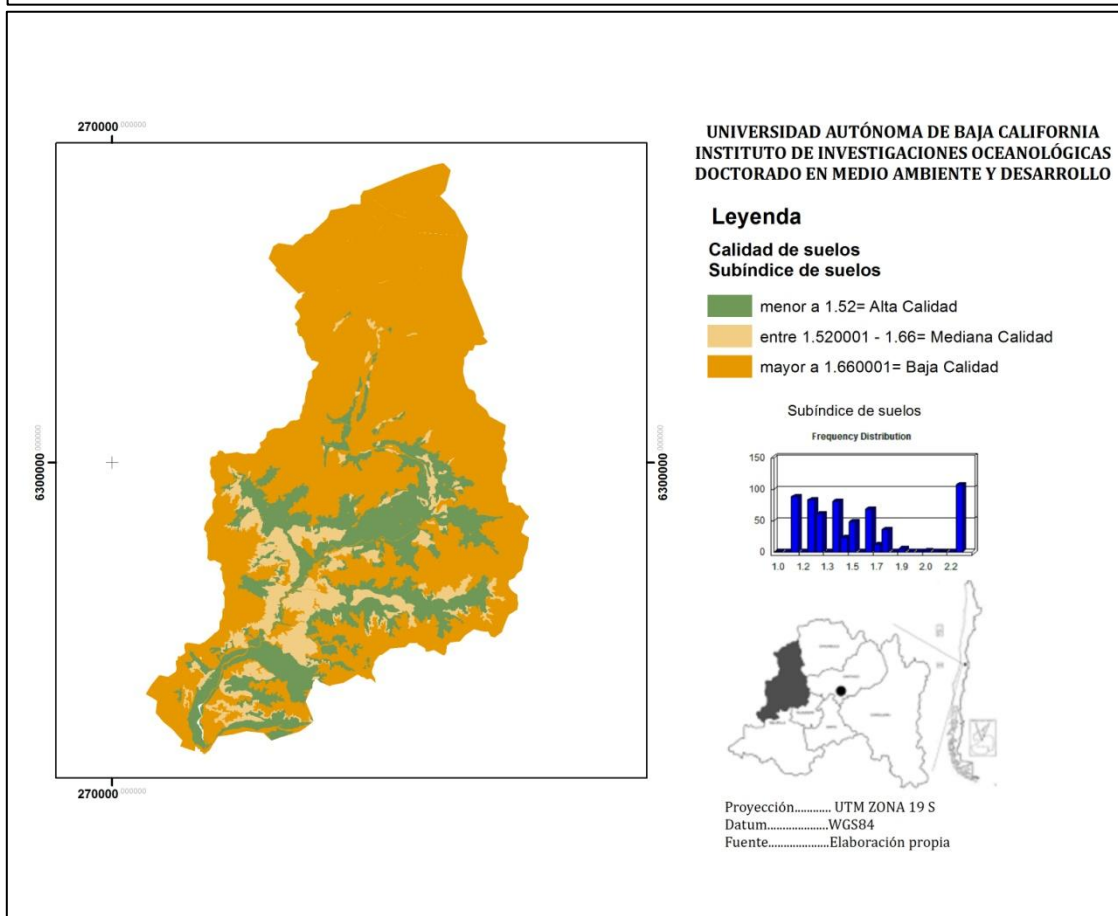
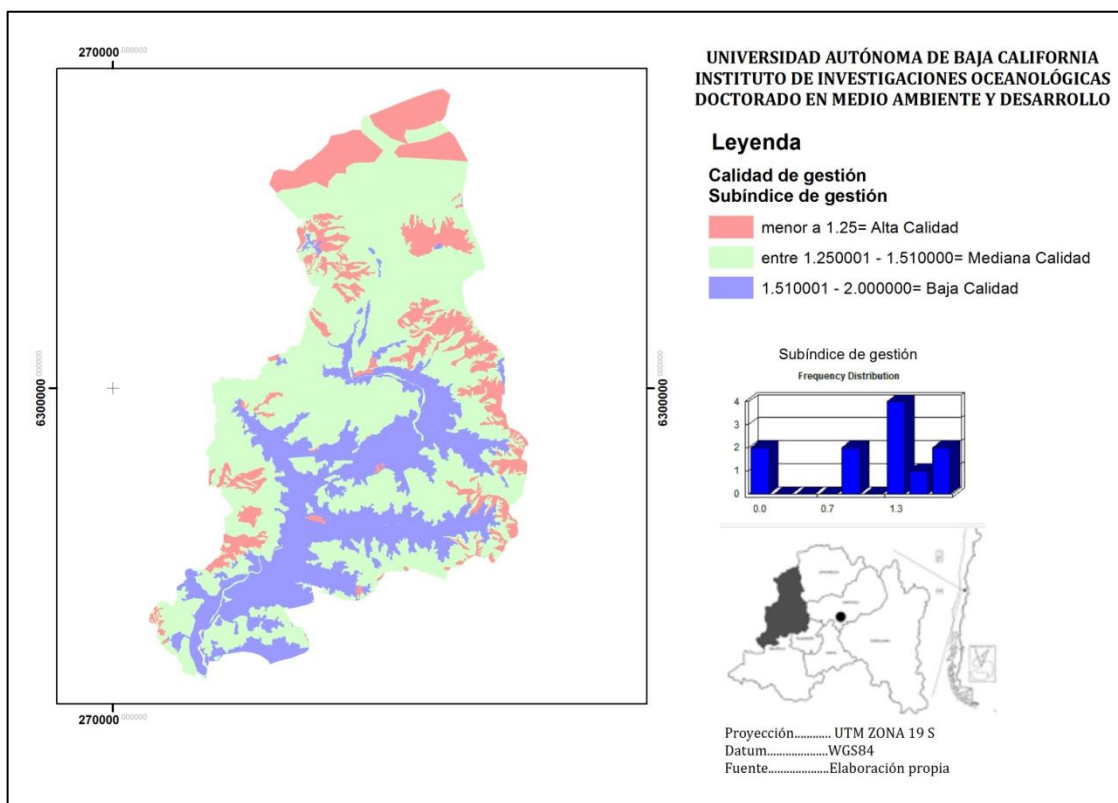


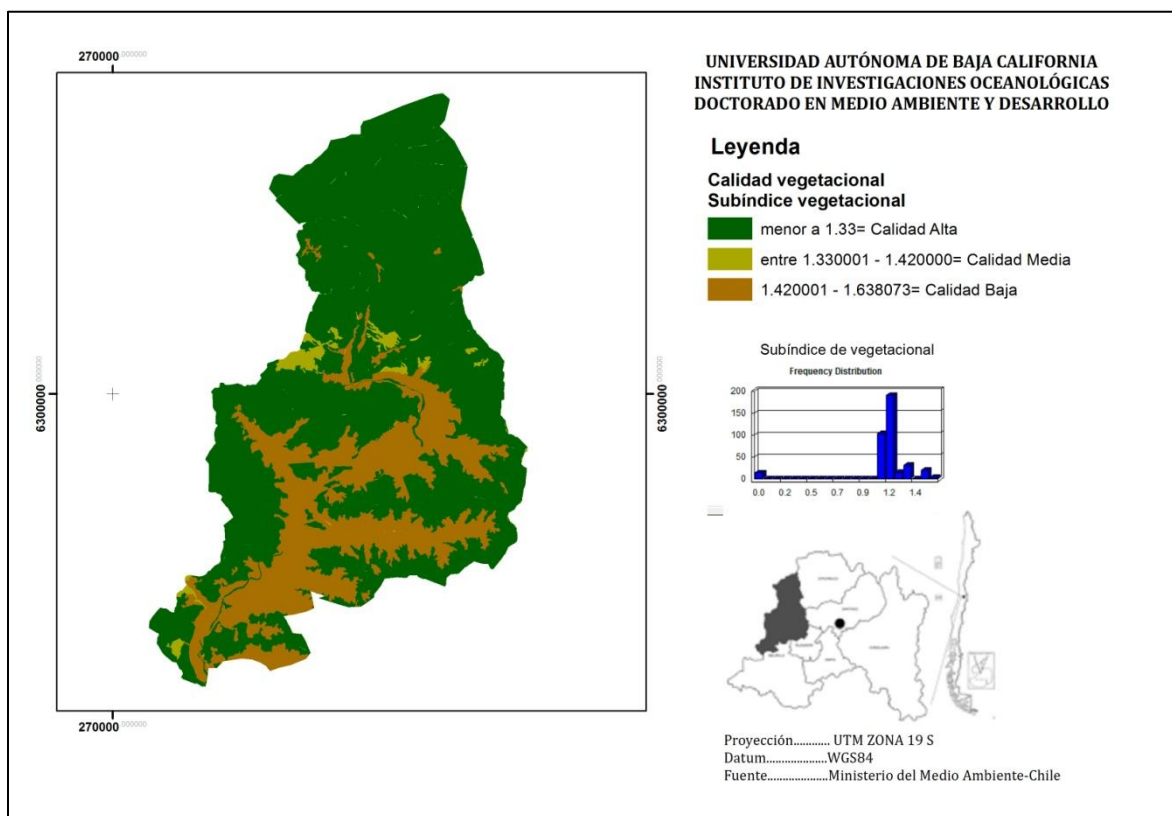


* El subíndice climático y de vulnerabilidad socioeconómica no muestra diferencias espaciales en la zona.

ANEXO 5: SUBÍNDICES DEL PUANGUE, CHILE







* El subíndice de vulnerabilidad socioeconómica no muestra diferencias espaciales en la zona.

