

A mis padres,

Olga y Emigdio,

por su valiosa guía durante estos años,

mostrándome que el camino correcto en la vida no siempre es sencillo,

pero que todo sacrificio al final tendrá su recompensa.

AGRADECIMIENTOS

A Dios y la Virgen por sobre todas las cosas, que han sido mi soporte y apoyo incondicional en toda esta experiencia que he tenido la fortuna y oportunidad de vivir. Gracias Dios mío.

A mis padres con especial dedicatoria, por haber sido una guía perpetua en mi andar, por todo lo que significan para mí a pesar de la distancia que nos separa, siempre están conmigo en el pensamiento, y todo esto no hubiera sido posible sin su apoyo. A ti papá, por sembrarme la inquietud de la hidrología y hacerme ver lo bello que es su estudio. Muchas Gracias. Los quiero y los admiro tanto.

A mis tres hermanos, Lucía, Celia y Emigdio, que a pesar de los miles de kilómetros que nos separan, esto no es impedimento para que los extrañe y desee volver a verlos pronto. Cada uno de ustedes influyó en mí de alguna manera, Lucía a través de sus consejos, Celia con su generosidad y Emigdio con su complicidad. A mis cuñados Heriberto y Asdrúbal, gracias. Somos una gran familia, que no quede duda.

A mis cinco sobrinos, Juan Pablo, Kamila, Heriberto, Carolina y Valentina, fuente de alegría e inspiración para toda la familia. Espero que algún día lleguen muy lejos mis niños.

A la familia entera, que con su cariño y confianza constante, han representado un apoyo esencial.

A mis directores del Trabajo de Fin de Máster, Leticia y José Andrés, que desde un principio me ofrecieron toda su confianza y apoyo para realizar este proyecto. Realmente más que unos tutores de trabajo, fueron unos guías que siempre estuvieron ahí cuando fue necesario. Les tengo un gran cariño a los dos. Muchas gracias.

A todas las personas que de alguna forma contribuyeron a la realización de este trabajo, recordando los momentos de angustia al recopilar la tan escasa información hidrológica y facilitando la información digital desde México para poder elaborar la cartografía. Al M. en C. Héctor Javier García Monárrez, al M. en C. José Antonio Pérez Venzor y al Geol. Daniel Valdivia Pimentel. Muchas gracias.

Al apoyo de COSCYT, Consejo Sudcaliforniano de Ciencia y Tecnología, por la beca brindada y el apoyo constante para la elaboración de este trabajo. Muchas gracias.

A mis amigos y compañeros, a los que desde la distancia continuaron apoyándome y a los que tuve la oportunidad de conocer por estas tierras. Gracias por su compañía y colaboración en los pequeños detalles y en los grandes momentos, porque juntos vivimos la experiencia de estar lejos de casa y aprendimos a sobrellevar los aconteceres cotidianos. No los olvidaré.

A los profesores del Máster, que abrieron en mí una percepción distinta de lo que debe ser la hidrología. De ustedes me llevo conocimientos que jamás imaginé adquirir. Porque el Máster de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente significó una etapa de muchos cansancios y desvelos, pero también de grandes satisfacciones.

Por estos casi dos años transcurridos en una ciudad tan bella como lo es Valencia, a España misma que me recibió con los brazos abiertos todo este tiempo, y que desde ahora en adelante este país será por siempre mi segundo hogar. Gracias.

No me quedan palabras para agradecer la valiosa oportunidad que tuve de realizar un posgrado en esta Universidad y en esta ciudad. Por siempre, en mi corazón. Gracias a todos.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1. OBJETIVO Y ANTECEDENTES

1	
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. OBJETIVOS	5
1.2.1. Objetivo General	5
1.2.2. Objetivos específicos	5
1.3. ANTECEDENTES - ESTADO DEL ARTE	6

CAPÍTULO 2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. ELECCIÓN CUENCA DE ESTUDIO	21
2.2. DESCRIPCIÓN DEL MEDIO FÍSICO	21
2.2.1. Situación	21
2.2.1.1. Localización geográfica	25
2.2.1.2. Caracterización general de la cuenca	26
2.2.2. Geología y Litología	29
2.2.2.1. Edafología y estratigrafía	31
2.2.2.2. Clasificación de las litofacies	34
2.2.3. Descripción de los suelos	36
2.2.4. Clima	39
2.2.4.1. Elección de observatorios meteorológicos	43
2.2.4.2. Balance hídrico	44

2.2.4.3. Clasificación climática	48
2.2.5. Vegetación y cultivos	58
2.2.5.1. Vegetación potencial	58
2.2.5.2. Vegetación actual y distribución de usos del suelo	59
2.2.5.3. Tenencia de la tierra	62
2.2.6. Características socioeconómicas	64
2.2.6.1. Datos geográficos	65
2.2.6.2. Demografía y análisis de la población.	65
2.2.6.3. El mercado de trabajo	69
2.2.6.4. Análisis de cada uno de los sectores económicos	71
2.3 HIDROLOGÍA FORESTAL	77
2.3.1. Reseña Hidrográfica	77
2.3.2. Características morfológicas	80
2.3.2.1. Parámetros de forma	80
2.3.2.2. Parámetros de relieve	81
2.3.2.3. Parámetros relativos a la red hidrográfica	84
2.3.3. Cálculo de caudales	85
2.3.3.1. Aplicación de la fórmula empírica de García Nájera	85
2.3.3.2. Aplicación del método (MOPU)	87
2.3.4. Erosión en la zona de estudio	94
2.3.4.1. Índices de protección del suelo por la vegetación	97
2.3.5. Hidrogeología	98

2.4 METODOLOGÍA DE ORDENACIÓN DE LA CUENCA (USLE)	102
2.4.1. Métodos de cálculo factores USLE	105
2.4.1.1. Factor erosividad de la lluvia (R)	105
2.4.1.2. El factor erosionabilidad (K)	107
2.4.1.3. El factor longitud-inclinación LS	110
2.4.1.4. Factor cubierta vegetal o factor C	112
2.4.1.5. El factor de prácticas de conservación P	115
2.4.2. Tolerancia pérdidas de suelo y tasa de erosión según el Modelo USLE	116
2.4.3. Mapa de usos futuros en base a la ordenación de la cuenca	118
2.5. METODOLOGÍA DE ORDENACIÓN DE LA CUENCA CON CRITERIOS DE MINTEGUI (1990)	120
2.6. METODOLOGÍA DE ORDENACIÓN DE LA CUENCA BASADA EN CRITERIOS DE SOSTENIBILIDAD	124
2.6.1. Estudio de la problemática de la cuenca	125
2.6.2. Establecimiento de los objetivos y selección de actividades	126
2.6.3. Inventario y análisis del medio: cartografía temática	128
2.6.4. Estudio de la capacidad de acogida de las actividades	131
2.6.5. Estudio del grado de conveniencia del medio	143
2.6.6. Adecuación del medio para la realización de actividades: matriz de adecuación	155
2.6.7. Relaciones entre actividades	156
2.6.8. Propuesta de actividades para optimizar los objetivos	157
2.6.8.1. Asignación de actividades	157
2.6.8.2. Actividades propuestas	158

CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	161
3.1. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	161
3.2. ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS SUPERFICIES DE ACTUACIÓN	165
3.2.1. Comparación Modelo USLE y MOCS	166
3.2.2. Comparación ordenación según criterios de Mintegui (1990) y MOCS	169
3.2.3. Comparación ordenación según criterios de Mintegui (1990) y modelo USLE	173
3.3. ESTUDIO CUANTITATIVO DE LAS COINCIDENCIAS DE LOS MÉTODOS: CÁLCULO DEL ÍNDICE DE KAPPA	175
3.3.1. Cálculo del índice de Kappa	181
3.4. DISCUSIÓN	184
 CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES DEL TRABAJO	193
4.1 CONCLUSIONES	193
4.2. APORTES DEL TRABAJO	197
4.3. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	197
 CAPÍTULO 5. BIBLIOGRAFÍA	199
 ANEJOS	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tipos de degradación existente en México	9
Figura 2. Localización de México en el continente americano	22
Figura 3. Territorio correspondiente a la República Mexicana	22
Figura 4. Falla de San Andrés	23
Figura 5. Cinturón de desiertos en el planeta	24
Figura 6. Ubicación de la cuenca hidrográfica de La Paz en el estado de Baja California Sur	25
Figura 7. Localización de la cuenca La Paz y sus principales ciudades	27
Figura 8. Clasificación de las litofacies, de acuerdo a la influencia en los estados erosivos	36
Figura 9. La cuenca de La Paz con sus sierras y valles principales	37
Figura 10. Localización de los vientos de verano e invierno	41
Figura 11. Lluvia orográfica	41
Figura 12. Zonas de formación de ciclones con afección a la República Mexicana	42
Figura 13. Ubicación de los observatorios meteorológicos	44
Figura 14. Clasificación de Köppen para la cuenca de La Paz	53
Figura 15. Regiones hidrológicas de la Península de Baja California	77
Figura 16. División en subcuencas o unidades hidrológicas para la cuenca de La Paz	79
Figura 17. Curva hipsométrica de la cuenca de La Paz	82
Figura 18. Mapa de Isoyetas de intensidad de lluvia en Baja California Sur	88
Figura 19. Estructura del acuífero de La Paz	99
Figura 20. Manejo integral del recurso agua en el acuífero La Paz, B.C.S	101
Figura 21. Nomograma del factor K	108
Figura 22. Capacidad para la actividad 1: Repoblación Forestal Protectora	136
Figura 23. Capacidad para la actividad 2: Completar espesura en masas con espesura defectiva	137
Figura 24. Capacidad para la actividad 5: Repoblaciones para aumentar la biodiversidad	138
Figura 25. Capacidad para la actividad 6: Conservación de enclaves de interés	139
Figura 26. Capacidad para la actividad 7: Acotación de áreas al pastoreo	140

Figura 27. Capacidad para la actividad 8: Mantenimiento y mejora de matorrales	141
Figura 28. Capacidad para la actividad 9: Mantenimiento del uso agrícola	142
Figura 29. Conveniencia para la actividad 1: Repoblación forestal protectora	147
Figura 30. Conveniencia para la actividad 2: Completar espesura en masas con espesura defectiva	148
Figura 31. Conveniencia para la actividad 4: Restauración de riberas	149
Figura 32. Conveniencia para la actividad 5: Repoblaciones para aumentar la biodiversidad	150
Figura 33. Conveniencia para la actividad 6: Conservación de enclaves de interés	151
Figura 34. Conveniencia para la actividad 7: Acotación de áreas al pastoreo	152
Figura 35. Conveniencia para la actividad 8: Mantenimiento y mejora de matorrales	153
Figura 36. Conveniencia para la actividad 9: Mantenimiento del uso agrícola	154
Figura 37. Interpretaciones del índice Kappa	183

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Porcentaje del área nacional mexicana afectada por erosión	11
Tabla2. Factores a considerar en la ordenación agro-hidrológica de una cuenca hidrográfica	13
Tabla 3. Clasificación litológica según nivel de erosión	34
Tabla4. Clasificación de climas según sistema Thornthwaite	43
Tabla 5. Clasificación de Lang para el índice de aridez	49
Tabla 6. Clasificación de Martonne para el índice de aridez	51
Tabla 7. Síntesis de las regiones bioclimáticas de Gaussen y otros nombres posibles	55
Tabla 8. Clasificación bajo el Índice de Fournier Modificado	57
Tabla 9. Clasificación del IFM para las estaciones climatológicas relacionadas a la cuenca de La Paz	57
Tabla10. Usos de suelo en la cuenca de La Paz	61
Tabla11. Lotes y superficies de origen ejidal	64
Tabla 12. Núcleos poblacionales importantes en el municipio de La Paz	65
Tabla 13. Distribución porcentual de la población en Baja California Sur	66
Tabla 14. Población total (proyecciones con base en 1990), 1990, 2000-2005	67
Tabla 15. Población urbana (proyecciones con base en 1990), 1990, 2000-2005	67
Tabla 16. Población rural (proyecciones con base en 1990), 1990, 2000-2005	67
Tabla 17. Densidad y dinámica de crecimiento	67
Tabla 18. Proyecciones de crecimiento de población 2000-2030	68
Tabla 19. Población económicamente activa por rama de actividad	71
Tabla 20. Distribución de la superficie agrícola en el municipio de La Paz	72
Tabla 21. Relación entre altitudes y superficies para la cuenca de La Paz	82
Tabla 22. Clasificación de suelos a efectos del umbral de escorrentía	91
Tabla 23. Datos de entrada para el cálculo de caudales	93
Tabla 24. Cálculos de caudales para distintos períodos de retorno	94
Tabla 25. Índice de protección de suelo por la vegetación	98
Tabla 26. Asignación de volúmenes de pozos del acuífero de La Paz	100
Tabla 27. Distribución del Factor R para las estaciones climatológicas de la cuenca de La Paz	106

Tabla 28. Valores NDVI para la Clasificación del NDVI de la época seca del año 2008	114
Tabla 29. Factores asignados de C para vegetación de clima árido por el USGS	114
Tabla 30. Clasificación Provisional para la Evaluación de la Degradación de los Suelos	117
Tabla 31. Superficie de pérdidas de suelo en la cuenca de La Paz	118
Tabla 32. Ordenación de usos del suelo según el modelo USLE	119
Tabla 33. Superficies de los usos de suelo asignados según el modelo USLE	120
Tabla 34. Criterios para la ordenación agrohidrológica de una cuenca alimentadora	121
Tabla 35. Superficies definitivas de los usos asignados según la ordenación agrohidrológica con criterios de Mintegui Aguirre	123
Tabla 36. Objetivos de la ordenación y actividades propuestas	127
Tabla 37. Matriz de capacidad de acogida para realizar actividades	132
Tabla 38. Matriz de conveniencia del medio para realizar actividades	144
Tabla 39. Clases de Adecuación establecidas	155
Tabla 40. Compatibilidad entre actividades	156
Tabla 41. Superficies de adecuación para las actividades propuestas	158
Tabla 42. Combinación de actividades compatibles con grado Alto de adecuación presentes en la cuenca	159
Tabla 43. Resultados de la ordenación según modelo USLE	161
Tabla 44. Resultados de la ordenación según criterios de Mintegui Aguirre (1990)	162
Tabla 45. Resultados de la ordenación según metodología con Criterios de Sostenibilidad	163
Tabla 46. Superficies de superposición Modelo USLE y Metodología de Ordenación con Criterios de Sostenibilidad	166
Tabla 47. Superficies de superposición Metodología según criterios de Mintegui y Metodología de Ordenación con Criterios de Sostenibilidad	170
Tabla 48. Superficies de superposición Metodología según criterios de Mintegui (1990) y Modelo USLE	173
Tabla 49. Bloques de actuaciones asimilables entre Metodologías	175
Tabla 50. Comparación MOCS con USLE	176
Tabla 51. Comparación MOCS con Metodología con criterios de Mintegui (1990)	178
Tabla 52. Comparación Método USLE con Metodología con criterios de Mintegui (1990)	179
Tabla 53. Fuerza de concordancia del índice K	182
Tabla 54. Fuerza de concordancia del índice K según los valores obtenidos	183