

CAPÍTULO 1. OBJETIVO Y ANTECEDENTES

1.1. INTRODUCCIÓN

La acción del hombre a lo largo de su historia sobre el planeta lo ha convertido en uno de los principales factores de cambio de los sistemas medio-ambientales. A través de sus actividades ha influenciado en menor o mayor grado el funcionamiento de los mismos, ya sea introduciendo nuevos componentes o modificando los ya existentes (Huang, 2008). Todo ello ha transformado el curso u evolución original de los mencionados sistemas, permitiendo al hombre beneficiarse directa o indirectamente de dichas alteraciones al ambiente, incluso a costa de la aparición de efectos negativos, que probablemente con anterioridad no habían sido considerados para su estudio (Booth, 2011).

Por lo que es preciso establecer que los recursos naturales, agua, suelo y vegetación, integran sistémicamente el componente fundamental de un sistema medio-ambiental, el cual debe estar sujeto a una planificación basada en el desarrollo sostenible de un entorno natural, que sea conveniente tanto para la población actual como para las generaciones futuras (Guevara, 1997). Todo ello obliga a considerar el desarrollo de técnicas, procesos, y metodologías encaminadas a evaluar la conveniencia de las diferentes actividades, que en un principio la sociedad reclama como necesarias, pero que deben realizarse en un contexto de coherencia con la conservación del medio ambiente, sin que ello suponga de algún modo renunciar a los objetivos planteados en un principio (Claver, 1982).

La Restauración Hidrológico Forestal (en adelante RHF) constituye la herramienta técnica con la que la ingeniería forestal española cuenta para la conservación del recurso agua y suelo. El origen de la RHF es centroeuropeo, pero se comenzó a aplicar en España a mediados del siglo XX, donde ya existía una concienciación importante sobre la necesidad de restaurar y conservar los montes arbolados, que se tradujeron en nuevas disposiciones legales

como la creación del Servicio Hidrológico Forestal y la Ley de Conservación de Montes y Repoblación Forestal.

La RHF se concreta a un conjunto de acciones mecánicas y biológicas, como son las actuaciones de restauración de la vegetación, prácticas de conservación de suelos y las hidrotecnias de corrección en la red de drenaje, que son distribuidas armónicamente entre la cuenca y sus cauces (Zlolski, 2011). Estas actividades conducen a mitigar las consecuencias negativas de la dinámica torrencial y sus manifestaciones (erosión, transporte y sedimentación) con el fin de reducir sus efectos catastróficos: pérdidas de productividad, destrucción de bienes, sedimentación de embalses, desertificación e, incluso pérdidas de vidas humanas.

Su esquema de aplicación es la cuenca hidrográfica, concebida como un marco interdisciplinario, que es sintetizado matemáticamente por el ciclo hidrológico y definido geográficamente por la cuenca vertiente, en la que cualquier acción o transformación afecta el sistema (López Cadenas de Llano, 1994). Como corolario, las técnicas de restauración han considerado tomar la cuenca hidrográfica, como unidad territorial de actuación (López Cadenas de Llano, 1994) de planificación (FAO, 1992) y de gestión (López Cadenas de Llano, 1994).

Para la segunda mitad del siglo XX, la visión de conjunto de la cuenca hidrográfica retoma fuerza, no solo como escenario de integración de las actuaciones de la RHF, sino con un carácter global que incluye también, las actividades productivas, culturales y vitales de los hombres en ella. Con los trabajos de Colman (1953) se produce el concepto de “manejo de cuencas” (watershed management), visión que aporta un enfoque sistémico de la cuenca como escenario de las actividades que en ella ocurren y de sus interrelaciones con el espacio físico (Hufschmidt, 1986).

Con la posterioridad surge la “ordenación de cuencas hidrográficas” como una expresión europea del concepto americano de “manejo de cuencas”. Y de igual forma que sucedió en América, para Europa (principalmente en España y Francia) se desarrolló un gran

campo de estudio en materia de gestión integral de cuencas, promoviendo la creación de escuela en esta área.

Ya en las últimas décadas, se ha puesto énfasis en el nuevo paradigma de sostenibilidad, que urgentemente debe expresarse en todas las manifestaciones humanas, y consecuentemente en la ingeniería, por su gran capacidad de transformación del medio físico. En la Cumbre de la Tierra (Río de Janeiro, 1992) se consagró la necesidad de garantizar el uso de los recursos en el tiempo y en el espacio, o dicho en otras palabras, los seres humanos van a constituir el centro de las preocupaciones relacionadas con el desarrollo sostenible, por lo que tienen derecho a una vida saludable y productiva en armonía con la naturaleza.

Así se va estableciendo la necesidad de promover el estudio de cada uno de los factores (naturales y humanos) que ejercen influencia sobre el entorno hidrológico de los cursos de agua, ya sean superficiales o subterráneos (González D., 2011). Dicho estudio contribuye a establecer mecanismos de gestión y toma de decisiones que inducirían a la sostenibilidad del ambiente, permitiendo identificar zonas con sobreexplotación o déficit hídrico, erosión hídrica superficial, sedimentación y denudación de la cubierta vegetal.

Con lo que se concreta que la condición actual y futura de una cuenca hidrográfica depende de una infinidad de factores, tales como son:

- La dinámica demográfica que se presenta en la cuenca y su grado de vinculación con las otras cuencas de un país o una región,
- La disponibilidad e intensidad de uso de sus recursos naturales;
- Las características de la producción y la economía que se verifica en su espacio geográfico;
- La tecnología existente en materia de infraestructura hídrica;
- Las instituciones y el modo de funcionamiento;
- Las leyes, reglamentaciones y normas que rigen el funcionamiento de los procesos que se verifican dentro de la cuenca;

-La cultura y el grado de conciencia de los habitantes sobre la importancia de preservar los recursos y cuidar el medio ambiente; y

-La complejidad y el tamaño de la cuenca.

En consecuencia, para el contexto actual, la ordenación de las cuencas hidrográficas, debe dar respuesta a los diferentes escenarios de actuación desarrollados por la población, de una forma sistémica, global y sostenible (Barredo, 1996). En ciertas ocasiones, estos escenarios serán derivados del uso inadecuado de los recursos naturales y de actividades no planificadas, que provocarán la desestabilización del sistema, precisamente por no considerar previamente la conexión existente entre los distintos elementos que interaccionan permanentemente en una cuenca hidrográfica (Mintegui Aguirre, 2008).

El presente trabajo, abordará el análisis y la comparación de tres metodologías de ordenación de cuencas, las cuales están dentro de un marco de planificación física destinada a la conservación y buen uso de los recursos naturales. Estas metodologías son:

-el modelo de ordenación según la Ecuación de Pérdidas de Suelo (USLE)

-la metodología de ordenación agro-hidrológica, según criterios de Mintegui (1990)

-y una nueva metodología de ordenación de cuencas, según criterios de Sostenibilidad, desarrollada en la Universidad Politécnica de Madrid (MOCS).

Su aplicación se trasladó a una región lejana a las latitudes españolas, específicamente a una cuenca típica de las zonas áridas y desérticas de la zona noroeste del territorio mexicano. Con esto se contribuye a la propuesta de diversas actividades para la protección y/o restauración de la región, resultado que se verá reflejado en mapas temáticos (Vilchis Mata, 2011), realizados gracias a la herramienta técnica de los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo General

Realizar un estudio comparativo de metodologías de ordenación de cuencas para investigar las fortalezas y debilidades de las mismas, y así determinar cuáles son más aptas en el contexto árido del estado de Baja California Sur, México y su aplicación en la cuenca de La Paz.

1.2.2. Objetivos específicos

- Analizar las metodologías de ordenación de cuencas según el modelo USLE (Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo), ordenación que se basa en los criterios de ordenación de Mintegui y la metodología de ordenación con criterios de Sostenibilidad (MOCS).
- Aplicar las metodologías de ordenación de cuencas a la cuenca de La Paz en Baja California Sur (México).
- Comparar y analizar los resultados de las metodologías aplicadas a la cuenca en estudio.
- Aportar conclusiones para la futura aplicación de las metodologías.

1.3. ANTECEDENTES - ESTADO DEL ARTE

Las relaciones agua y suelo revisten una gran importancia en materia de riego, drenaje, hidrología y otras ciencias relacionadas con los recursos hídricos y el medio ambiente. Consecuentemente, para suelos en buen estado y protegidos, se almacena agua mediante la infiltración, y ésta a su vez promueve la fertilidad del suelo para la producción de alimentos, vegetales y cualquier tipo de materia prima (Robredo Sánchez, 1994).

Entre los factores que condicionan el fenómeno erosivo, se encuentran los agentes climáticos, representados en precipitaciones con características particulares de intensidad, duración y frecuencia; agentes edáficos, respondiendo al tipo de suelo; el relieve (pendiente) y la vegetación que protege al suelo del impacto directo de las gotas de lluvia, contribuye a disminuir la escorrentía superficial, decrecer caudales punta y cuyas raíces protegen al suelo de no disgregarse (Booth, 2011). Consecuentemente, suelos desprotegidos encuentran en el agua uno de los agentes erosivos más enérgicos, produciendo un fenómeno conocido como erosión hídrica. Este proceso comienza con el arrastre de sus componentes más finos y ricos en nutrientes y culmina en el estado de desertificación, con su desaparición y transporte a las zonas bajas donde se deposita (Doyle, 2010).

La erosión es uno de los principales mecanismos de la desertificación a nivel nacional y regional. La Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (UNCED, 1992) define formalmente la desertificación como "la degradación de tierras en zonas áridas, semiáridas y secas sub-húmedas resultante de diversos factores, entre ellos las variaciones climáticas y actividades humanas." Esta definición es en la actualidad utilizada como base de la Convención de Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (CNULD).

“La degradación de los suelos es, en su sentido más amplio, uno de los principales problemas con que se enfrenta el mundo en este momento. La población del planeta aumenta cada cinco días en más de un millón de personas y se calcula que se duplicará entre 1980 y

2015. El suelo es y seguirá siendo en un futuro previsible la base de la producción alimentaria, pero cabe preguntarse si bastará para alimentar una población dos veces mayor que la existente a partir de la próxima generación. Incluso ahora muchos millares de hectáreas dejan de cultivarse cada año por exceso de erosión, salinidad, anegación o esterilidad, y en millones de ellas el potencial productivo básico declina progresivamente hacia dicho estado” (FAO-PNUMA, 1984)

En México ocurren numerosos eventos naturales que condicionan o favorecen los procesos de degradación de los suelos. Sin embargo, el verdadero problema radica en la actividad humana, que sobreexplota los ecosistemas convirtiéndolos en áreas estériles, erosionadas y contaminadas entre otras, por el manejo ineficiente de los recursos (Roldán y Trueba, 1978).

Antecedentes históricos

México cuenta con una gran gama de ecosistemas, la superficie estimada de áreas forestales asciende a 40, 957 millones de hectáreas cubiertas de bosques y selvas y 85,508 millones de hectáreas de arbustos y matorrales, lo que representa el 21% y 43% de ella respectivamente (SEDUE, 1986).

La erosión del suelo es una causa de degradación del medio ambiente y uno de los factores limitantes más serios que enfrenta la agricultura mexicana (López, 2011). Este fenómeno, junto a situaciones socioeconómicas como: tenencia de la tierra, cambio de uso del suelo, falta de insumos operativos, ignorancia y bajos precios de los productos agrícolas en comparación con los industriales; han causado una fuerte reducción en la productividad agropecuaria y forestal del país; ocasionando la migración de la población rural hacia las ciudades en busca de un mejor nivel de vida (Peinado M., 2011).

En México, el problema con el manejo de los recursos naturales como suelo y agua se presenta desde épocas prehispánicas. Los registros que se conocen hacen referencia al manejo de estos recursos a través de la construcción de terrazas y el diseño de complejos sistemas de riego y drenaje. Los primeros esfuerzos desarrollados con carácter gubernamental, para el manejo eficiente de los recursos agua, suelo y vegetación datan de 1917 cuando las Secretarías de Agricultura y Fomento toman la responsabilidad del aprovechamiento de las tierras y aguas nacionales (Halffter, 2011).

En 1926 se crea el Departamento de Conservación de Suelos, como parte de la Comisión Nacional de Irrigación, encargado de la construcción de obras de conservación y reforestación en el Distrito de Riego Arroyo Zarco (Torres, 2000). Posteriormente, en 1947, la extinta Secretaría de Recursos Hidráulicos crea siete comisiones encargadas de desarrollar trabajos de manejo y conservación del suelo y el agua en las cuencas hidrográficas de México. Es a partir de la década de los años 80's cuando se hace urgente la necesidad de evaluar en México el proceso de erosión, hídrica y eólica, así como sus efectos en la degradación del suelo. Durante éste período se desarrollaron numerosos trabajos de investigación, a diferentes escalas de observación (nacional, estatal, regional y parcelaria), del fenómeno de la erosión hídrica y eólica; empleando desde información obtenida a partir de imágenes de satélite, hasta datos de laboratorio (Zloliniski, 2011).

A mediados de 1985, se consideraba que el 85% del territorio mexicano presentaba diversos grados de erosión. Solo se libraban del problema algunas zonas climáticas húmedas del sur del país. Un 30.5% del territorio padecía "erosión acelerada" y un 16.7% de la superficie del país el proceso de erosión había culminado ya con la desaparición de la cobertura edáfica y la consiguiente exposición de la roca madre (Roldan, 1978). Este problema presenta su máxima gravedad en el centro y la región nororiental del país, así como en la costa del Pacífico, al sur de la Península de Baja California. Es imposible reconstruir la evolución temporal del proceso erosivo en México, pero con toda probabilidad conoció dos momentos cruciales: el primero se relacionó con la portentosa multiplicación del ganado durante el siglo XVI, el segundo se produjo a raíz de las transformaciones agropecuarias que se iniciaron a mediados del siglo XX, en donde la principal causa de degradación es la explotación de áreas no aptas para el cultivo (Klein, 2012). Estos dos grandes procesos se

verificaron también en otros países de la región, y en todos ellos contribuyeron a acelerar la desertificación inducida.

Otra causa importante de la degradación es el crecimiento demográfico que se ha incrementado a partir de los años cuarenta (Crosby, 1992). En 1940 la población total del país alcanzaba 19.6 millones de habitantes, cifra que se elevó a 81.2 millones en 1990, y se estima llegará a los 108.1 millones en el año 2000. Por otro lado el crecimiento económico que se produjo a partir de 1950 provocó que la población urbana creciera con respecto a la rural. Para ese año la población urbana representaba el 35.1 % del total nacional, frente al 64.9% de la población rural, en 1990 esa relación se modificó radicalmente, correspondiendo al 71% la población urbana y sólo el 29% la población rural. Esa fuerte concentración de la población en las ciudades no solo se explica por el acelerado crecimiento industrial, sino también por la pobreza de los campesinos que emigran a las ciudades en busca de mejores condiciones de vida. Así se pone de manifiesto, que en la actualidad la población urbana representa dos terceras partes del total (SEDUE, 1986).

En la actualidad según datos publicados por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) se tiene que el total de la superficie continental del país, existe un 64% del territorio que presenta algún tipo de degradación inducida por el hombre, de la cual se presenta la siguiente gráfica (Figura 1), con los diferentes tipos de degradación.

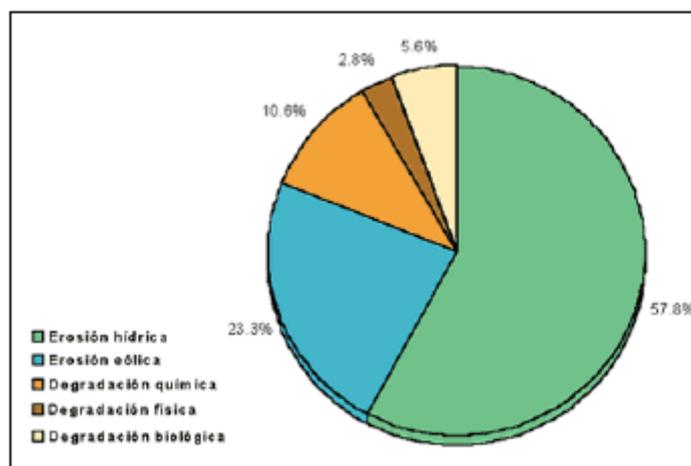


Figura 1. Tipos de degradación existente en México

La década de los años 70s y 80s se caracterizó por un interés creciente sobre los fenómenos de erosión de los suelos, además de un evidente interés por las consecuencias económicas y sociales que producía este evento (Figueroa, 1975).

Consecuentemente es importante resaltar que después de varios años de trabajo, el Programa de las Naciones Unidas para el Mejoramiento del Ambiente (PNUMA) en colaboración con FAO (1978) se responsabilizó en elaborar un proyecto y generar una metodología para evaluar y elaborar cartografía para la degradación de suelos. Esta se presentó en 1979 y México fue seleccionado para probar la metodología en su ensayo piloto. Dicha metodología propone los siguientes procesos de degradación: a) degradación de la cubierta vegetal, b) erosión, c) salinización, d) disminución de la materia orgánica del suelo, e) encroscamiento y compactación del suelo y f) acumulación de sustancias tóxicas para las plantas o animales.

Después de probar esta metodología en México, se propusieron algunas modificaciones aplicables a las condiciones locales de México y los resultados se presentaron en la tercera reunión sobre desertificación efectuada en Roma en octubre de 1982. De esta forma se genera la metodología para evaluar y elaborar cartografía de la desertificación en México (FAO, 1984).

El trabajo publicado más recientemente, que concentra gran cantidad de información obtenida de diversas fuentes especializadas en la evaluación de la erosión es “Estadísticas del Medio Ambiente México, 1997”. En él, se reportan los porcentajes del área afectada por diversos procesos de degradación, entre los que destacan la erosión hídrica y eólica; los datos se presentan a nivel nacional, por provincia fisiográfica y por estado. Con relación al cálculo de la superficie nacional afectada por erosión la publicación presenta algunas estimaciones realizadas por diversos autores (Tabla 1), que si varían en cuanto al tiempo de realizar la estimación, coinciden al reportar un porcentaje de afectación bastante considerable y que ésta se incrementa con el tiempo.

Tabla 1. Porcentaje del área nacional mexicana afectada por erosión.

Autor	Año	%Superficie del país afectada	Forma de cuantificación
Badwin	1945	45	Indirecta
SARH a nivel estatal	1960	69	Estimaciones visuales
Andrade Estrada y Ortiz	1975	80	Ecuaciones paramétricas
García	1983	71	Imágenes de satélite
SARH	1986	81	Imágenes de satélite
Geisset y Rossignol	1987	86	Indirecta

Fuente: Estadísticas del medio Ambiente en México, 1997

La Ordenación y Restauración Hidrológico Forestal

Es con el fenómeno de la desertificación que se supone un avance en el enfoque de las políticas y acciones mundiales sobre la erosión, principal causante de la desertificación, que pasan formalmente a formar parte de una estrategia de ordenación más global de las relaciones del hombre con la biosfera (Tejera, 2001). De esta manera en España, se fue desarrollando y aplicando técnicas de Ordenación Agro-Hidrológica y Restauración Hidrológico Forestal.

La *ordenación agro-hidrológica* y la *restauración hidrológico-forestal* son actuaciones técnicas, pero profundamente culturales y pensadas para la población; siendo su propósito final compaginar sus necesidades con las capacidades y limitaciones naturales del medio donde se asientan, para asegurar el presente y futuro de los recursos naturales. Ambas técnicas se definen a continuación (Mintegui, Robredo, 2008).

La *ordenación agro-hidrológica* se centra en el estudio del estado físico de la cuenca vertiente y en el análisis de su previsible comportamiento ante los eventos torrenciales, tanto ordinarios como extraordinarios, con el propósito de conocer cómo es realmente la cuenca y cómo se comporta; así como para prever su evolución y detectar sus carencias, a fin de proponer las medidas pertinentes para tratar de subsanarlas.

La *restauración hidrológico-forestal* implica llevar a cabo en la cuenca vertiente las medidas adoptadas en la *ordenación agro-hidrológica*, para protegerla de los daños que pudiera causarle el geo-dinamismo torrencial provocado por los eventos torrenciales o la fusión repentina del manto de nieve, así como para asegurar su buen funcionamiento hidrológico y la correcta conservación de sus suelos en los periodos que transcurren entre eventos torrenciales (Patiño, 1993).

En un esquema lógico, la operación previa a todo proyecto de restauración hidrológico forestal de una cuenca vertiente es su ordenación agro-hidrológica (Mintegui, 1990). Con dicha ordenación se planifica el uso al que deben dedicarse los diferentes terrenos que constituyen la cuenca vertiente, para conseguir el mejor aprovechamiento hidrológico de la misma.

Según Rábade (2006), el objetivo principal de la ordenación agro-hidrológica es la mejora de la calidad de vida de la población local, actuando en una doble vertiente:

- La mejora del medio natural (protección de los suelos, regulación hídrica y conservación de la biodiversidad) como medio de lucha contra la desertificación.
- La mejora de los recursos económicos, para generar empleo y estabilizar la población como herramienta para evitar las migraciones en origen, potenciando el desarrollo de los sectores económicos basados fundamentalmente en el aprovechamiento ordenado de los recursos naturales propios: sector forestal, turismo rural, caza y pesca, sector agro-ganadero, productos naturales, etc.

Normalmente en la confección de la ordenación agro-hidrológica, se tienen en cuenta los modelos hidrológicos, de conservación de suelos y de utilización del territorio (Van Oost, 2002). Además, debe fundamentarse al menos en los factores que se presentan en la tabla 2

para a partir de ellos establecer una clasificación de las actuaciones que se precisan llevar a cabo en cada una de las distintas zonas de la cuenca objeto de restauración.

Tabla2. Factores a considerar en la ordenación agro-hidrológica de una cuenca hidrográfica.

Altitudes según las zonas de la cuenca	Áreas dominantes (cabeceras) Áreas dominadas (valles)
Cubierta vegetal	Estado actual de la vegetación Procedencia Vocación (forestal, agrícola, otros usos)
Morfología de la cuenca	Pendientes (dependiendo de las zonas de la cuenca) Orientación (solana; umbría)
Geología	Áreas con erosiones superficiales Áreas con erosiones de fondo
Edafología	Tipos de suelo en las diferentes zonas de la cuenca
Modelos de protección del suelo	Índices de protección del suelo por la vegetación Aplicación de ecuaciones paramétricas (tipo USLE o RUSLE) Otros modelos de erosión
Índices fito-sociológicos	Índices bio-climáticos Índices de potencialidad de una estación
Actuaciones en el territorio	En la cuenca vertiente (alternativas posibles y selección de la opción de proyecto) En los cauces (alternativas posibles y selección de la opción de proyecto)
Clasificación del área de proyecto	Zonas con actuaciones Zonas de recomendaciones Zona sin actuaciones

Fuente: Mintegui, 2006.

Los objetivos de la restauración hidrológico forestal de una cuenca con carácter torrencial están centrados en el uso racional de los recursos que dispone, fundamentalmente suelo y agua, y son:

- La retención del suelo mediante el control de la erosión, tratando al mismo tiempo de aprovechar este recurso.
- La regulación de las avenidas y del transporte de materiales, provocado por las mismas, así como la sedimentación de éstos últimos en las áreas dominadas.
- La provisión hídrica.

Así mismo, éstos objetivos se pueden dividir en dos grandes grupos:

1. La resolución de los problemas generados por los eventos torrenciales acaecidos en la cuenca.
2. La utilización agrícola y forestal de la cuenca aprovechando racionalmente sus recursos hídricos, potenciando la agricultura en los lugares idóneos y concretando las potencialidades vegetativas en las diferentes zonas de misma; de modo que la vegetación permanente no se imponga sólo como protección integral de la cuenca sino que se instale ajustada a la realidad física del territorio y su clima, en función del comportamiento del ciclo del agua en la zona.

Como consecuencia de éstos objetivos, se tiene la planificación dinámica de las cuencas hidrográficas.

Manejo y Planificación de cuencas hidrográficas.

La cuenca hidrográfica, además de ser unidad hidrológica, es también unidad físico – biológica y en ocasiones, unidad socio-económica para la ordenación y planificación de los recursos naturales.

La gestión de recursos naturales se realiza en esta unidad de planificación por diversas razones, ya que en ella se verifica la presencia física del agua, la vida del hombre está vinculada a ella, existen interrelaciones e interdependencias entre factores físicos y productivos de la cuenca considerándola como un sistema dinámico (Kinoshita, 2011).

Por manejo de cuencas se entiende *el proceso de formular y aplicar en una cuenca hidrográfica un conjunto integrado de acciones tendentes a orientar su sistema social, económico y natural para lograr unos objetivos específicos* (Hufschmidt, M., 1986). Este proceso comprende dos fases: una inicial de planificación u ordenación y otra posterior de gestión. Administración o manejo, propiamente dicha, enmarcando todo el trabajo en la cuenca

La Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAO) en 1992, define la planificación de cuencas hidrográficas como la ordenación de los recursos naturales y la restauración de ecosistemas degradados, en función del mejoramiento del bienestar y de la calidad de vida de la comunidad.

La planificación física ha desarrollado y aplicado modelos y metodologías de trabajo basados en la capacidad del territorio como soporte y escenario vivo, y no mero decorado inerte, incorporando desde el principio, las decisiones adoptadas en función de esas capacidades convenientemente valoradas (Ramos, 1979). Se obtienen así las mejores respuestas sistemáticamente y en origen, por método, a las situaciones ambientales vinculadas al territorio sobre el que se actúa, que pueda plantearse.

Los estudios de erosión permiten tomar acciones concretas y ordenadas con criterios de jerarquización a nivel parcelario y conjuntamente con el productor, seleccionar de un gran grupo de alternativas, aquellas estrategias de conservación del suelo y agua, que auxilian en el incremento del rendimiento de los cultivos y en la obtención de una producción sostenida del campo.

Por otra parte, los métodos de planificación física, cuentan actualmente con potentes herramientas para el tratamiento de la información georreferenciada vinculada al territorio. Las mismas, son compatibles en su aplicación a las técnicas desarrolladas por las áreas de la ingeniería.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) permiten incorporar métodos procedentes de la planificación física a las áreas de la ingeniería que tratan sobre la hidrología forestal y la misma ordenación de las cuencas hidrográficas (Vilchis Mata, 2011).

Ordenación del territorio

Existen múltiples definiciones sobre la ordenación territorial, la Carta Europea de Ordenación del Territorio de 1983 la definió como:

“La expresión espacial de la política económica, social, cultural y ecológica de toda sociedad, con multitud de objetivos, entre ellos el desarrollo socioeconómico y equilibrado de las regiones, la mejora de la calidad de vida, la gestión responsable de los recursos

naturales, la protección del medio ambiente, y por último, la utilización racional del territorio”.

Puede considerarse a la ordenación como la culminación del proceso de planificación, pues supone asignar las actividades humanas vinculándolas al territorio. Según Gómez Orea (1978), se realiza una ordenación territorial cuando se toma en cuenta el territorio en la definición de la estrategia de desarrollo y cuando se vinculan a él las actividades que configuran dicha estrategia.

De esta manera, la ordenación del territorio requiere de un sólido conjunto de estudios interdisciplinarios para poder conseguir la integración armónica de las demandas humanas sobre sus componentes físicos, sociales y económicos, así como prever el impacto ambiental de tales demandas, con el fin de asignar espacial y temporalmente, el uso del territorio tendente a alcanzar la máxima eficacia y el bienestar de la sociedad, esto que se encuentra bajo el marco de la sostenibilidad (Gómez, 2005).

De esta manera, la ordenación como método planificado de acción previene los problemas que generan la ocupación y uso desordenado del territorio, los desequilibrios territoriales y las externalidades negativas que los acompañan (López, 2011). Para esto, la ordenación territorial utiliza dos tipos de instrumentos:

- La normativa, orientada a mantener lo positivo de la situación actual y prevenir los problemas futuros.
- La programación de actuaciones, dirigida al aprovechamiento de las oportunidades y a corregir los problemas presentes.

Metodologías y modelos para el ordenamiento de cuencas

La ordenación de cuencas hidrográficas condiciona los usos del suelo en una cuenca a la conservación del suelo, el agua y el equilibrio del ciclo hidrológico.

Una de las herramientas que más ha contribuido en el campo de la planificación es el empleo de los modelos matemáticos. *“Todo modelo, según J. Mosterin (1984), aspira a elaborar una teoría del sistema, es decir, un conjunto de enunciados, ecuaciones, fórmulas, esquemas, etc., que permitan describir adecuadamente el funcionamiento presente del sistema, así como explicar lo ocurrido en el pasado y predecir lo que pasará en dicho sistema en el futuro”*.

Por otro lado, la elección final de un determinado modelo depende de su utilidad y alcance, lo que a su vez viene condicionado a:

- Los parámetros y coeficientes que utilice
- La amplitud que pretende abarcar
- El rigor que exige o es posible exigir en las mediciones de los parámetros que en él intervienen
- Las disponibilidades de medida con las que se cuentan
- Los coeficientes de ajuste obtenidos de la experiencia

Es frecuente que los modelos no consigan aportar la solución óptima, debiendo contentarse con una que resulte satisfactoria.

La única herramienta posible para integrar las contribuciones de todas las disciplinas presentes en el problema y para incorporar datos y estudios procedentes de distintos sectores, es el desarrollo y utilización de modelos matemáticos, en los cuales, el algoritmo utilizado crea el puente necesario para unir a los distintos especialistas y para llegar a la resolución del problema (López 1994).

El uso de modelos, cada día más complejos, se ha hecho posible gracias al desarrollo experimentado por los ordenadores, que ha permitido el tratamiento matemático, rápido y seguro de la multitud de datos que conlleva la problemática que se está considerando, y por otra parte, a las grandes innovaciones en el análisis de sistemas que permiten la utilización de modelos para integrar diversas disciplinas (Díaz, 1997).

Por su parte, los modelos cartográficos han adquirido gran importancia en el área del manejo de los recursos naturales, ya que existe una gran disponibilidad de información cartográfica digital, la cual puede ser manipulada y analizada mediante la realización de combinaciones oportunas de dicha información disponible en diversos formatos (Claver, 1982). Los modelos que expresan relaciones espaciales y que se emplean en la práctica deberán ser sencillos y fáciles en su manejo, velando por la utilidad en su aplicación.

La metodología clásica para la asignación de usos del suelo, es decir, para la ordenación de la cuenca, más aplicada en España, se origina a partir de un mapa de erosión del suelo (Rojo, 1995). El procedimiento de cartografía de la erosión más empleado, está inspirado en la generalización de los factores de erosión de la ecuación universal de pérdidas de suelo (USLE). El uso de este modelo de la ecuación universal con objetivos de planificación, se basa en la comparación de la cifra de pérdida de suelo que proporciona el mapa con una cifra de pérdidas admisibles fijada de antemano. En aquellas áreas en las que las pérdidas de suelo son superiores a las admisibles, el uso del suelo es considerado incompatible con su conservación y por tanto, se proponen medidas y prácticas de conservación de suelos o acciones que proporcionasen una mejora de la cubierta vegetal protectora frente a la erosión (Desmet, 1996).

A pesar de las simplificaciones que se asumen en cualquier ejercicio de cartografía de la erosión, el procedimiento de ordenación es válido para establecer un mapa en el que las áreas afectadas se pueden agrupar en distintas categorías de intensidad de erosión (Cook, 1936). En la mayoría de los proyectos de restauración hidrológico forestal el mapa de erosión es considerado como una valiosa herramienta para asignar prioridades de actuación y definir estrategias de planificación en la restauración y gestión.

El proceso de planificación debe cumplir con un conjunto de objetivos, que en este caso, será el cumplimiento de los objetivos de la ordenación de una cuenca hidrográfica, que pasan por el conocimiento del estado y comportamiento de la cuenca vertiente y posteriormente prever su evolución, detectar sus carencias y finalmente proponer las medidas pertinentes para tratar de subsanarlas (Barredo, 1996).

En el campo de la ordenación agro-hidrológica, los modelos hidrológicos han desempeñado una importante función clarificadora en cuanto a la orientación que los proyectos han ido utilizando, la cual se ha centrado más en el enfoque de protección del suelo sin tomar mucho en cuenta el estudio del curso torrencial y su repercusión en la cuenca (Gómez, 2005). Por este hecho, los modelos hidrológicos resaltan los aspectos hidráulicos en los cauces y del uso del suelo en la cuenca vertiente, en especial la importancia de las superficies dedicadas a la vegetación arbolada permanente.

De esta forma, actualmente, se tiende a utilizar modelos hidrológicos integrados en la ordenación agro-hidrológica de una cuenca objeto de restauración conjugando 1) la ordenación del territorio tomando en cuenta las pérdidas de suelo por erosión y 2) la ordenación de los usos de la cuenca dependiendo de sus potencialidades hídricas y bioclimáticas y tratando de potenciar sus capacidades productivas y reguladoras de los recursos hídricos (Barredo, 1996).

Uno de los objetivos principales de los modelos hidrológicos distribuidos es llegar al conocer con precisión las disponibilidades hídricas de la cuenca. Un ejemplo de esto aplicó Robredo (1994) en su tesis doctoral “Diseño de un modelo distribuido elemental para el análisis del comportamiento hidrológico de una cuenca vertiente” en el establecimiento del modelo, no pensó tanto en las disponibilidades hídricas en sí mismas, sino en la demarcación de las zonas capaces de mantener unos recursos hídricos suficientes, para poder realizar en las mismas las repoblaciones propuestas con los proyectos restauradores.

La posibilidad de obtener con un solo modelo la mayor parte de la información necesaria para abordar la restauración de la cuenca, podría conducir en un futuro a adoptar modelos distribuidos.

Trabajos realizados con anterioridad

Previamente se han llevado a cabo diversos trabajos de investigación relacionados con el tema de ordenación de cuencas hidrográficas. La primera mención es para la tesis doctoral, Metodología para la ordenación de cuencas hidrográficas con criterios de sostenibilidad (Tejera Gimeno Rosario, 2001) de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes de la Universidad Politécnica de Madrid, que en buena medida ha planteado el sustento de subsecuentes trabajos en esta línea de investigación.

Siguiendo la línea de investigación antes mencionada en el presente Máster de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente se han realizado los siguientes Trabajos de Fin de Máster (TFM) para el análisis y comparación de metodologías de ordenación de cuencas, específicamente, para la cuenca del río Barxeta (Gómez Moscardó Elena, 2009) en la cuenca del Barranco de la Garganta (Santacreu Pascual Alicia, 2009) y para la cuenca de la rambla Vall de Gallinera (González Carrasco Ana Lía, 2011).

CAPÍTULO 2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. ELECCIÓN CUENCA DE ESTUDIO

Para el presente estudio se ha seleccionado la cuenca de La Paz en el estado de Baja California Sur, (B.C.S.), ubicada en la Península de Baja California, México. Esta cuenca es un reflejo típico del entorno arido-desértico de la Península de Baja California, contando con la presencia única de cursos de agua intermitentes (*arroyos* en América, *ramblas* en el ámbito mediterráneo semiárido), pendientes de bajas a medias en un territorio que es proclive a la afección por huracanes cada año en la temporada estival, presentando una cubierta vegetal expuesta a un excesivo pastoreo de ganado caprino y bovino que produce escorrentía con un elevado arrastre de sedimentos, ocasionando la degradación del suelo en la parte alta de la cuenca y un consecuente cambio de curso de los arroyos aguas abajo debido a la sedimentación de las partículas que han sido arrastradas.

2.2. DESCRIPCIÓN DEL MEDIO FÍSICO

2.2.1. Situación

La zona de estudio se localiza en México, un país situado en la parte meridional de América del Norte, colindante al Norte con los Estados Unidos de América y al sureste con Guatemala y Belice, al oriente con el Golfo de México y el Mar Caribe, y al poniente con el Océano Pacífico (Figura 2). El territorio mexicano ocupa una extensión cercana a los 2 millones de km², y su población en el 2010 rondó los 112 millones de personas (INEGI, 2010). La Federación mexicana está compuesta por 32 entidades federativas o estados, en este caso la cuenca hidrográfica de La Paz se ubica en el estado de Baja California Sur.



Figura 2. Localización de México en el continente americano.

En la región noroeste de México se ubica la Península de Baja California, la más grande de la costa oriental de todo el Océano Pacífico. En ella se encuentran los estados de Baja California (colindante con la frontera de Estados Unidos) y Baja California Sur, en la zona austral de la península (Figura 2).

La península de Baja California es bañada por las aguas relativamente frías del Océano Pacífico (al oeste y al sur), y separada del resto del territorio mexicano en el noreste por el Río Colorado, y después al este por el Golfo de California, que recibe distintas denominaciones como *Mar Bermejo* por el color de sus aguas, o *Mar de Cortés*, en honor al gran conquistador español Hernán Cortés y fundador de la ciudad capital de Baja California Sur, La Paz.



Figura 3. Imágenes de satélite, mostrando a la izquierda, el territorio correspondiente a la República Mexicana, y a la derecha, la Península de Baja California, situada en la región noroeste de México.

La Península de Baja California tiene un área de 143,600 km², sin incluir las islas que bordean los aproximadamente 3000 km. de costa. Ésta es una península rugosa de 1200 km de largo y entre 45 km de ancho en su porción más angosta en el Istmo de La Paz y 250 km en su parte más ancha en la Península de Vizcaíno. Presenta pendientes escarpadas y en general las vertientes de desagüe y acantilados se orientan hacia el Golfo de California. Por el lado occidental, el terreno desciende de forma progresiva en amplias planicies costeras. Cuenta a lo largo de toda su extensión con una cordillera de alturas cercanas a los 3000 m en el estado de Baja California y a los 2000 m en Baja California Sur. Presenta una orientación sumamente característica, NO-SE, casi paralela a las costas de Sonora y Sinaloa, estados vecinos al otro lado del Golfo de California.

Ésta orientación explica en buena lid, cómo fue separada la Península del continente americano a causa de un desgarramiento de la corteza terrestre, que a su vez, contribuyó a la formación del Golfo de California hace varios millones de años. Con lo que se considera que en un futuro relativo a varios millones de años, la Península formará parte de una auténtica isla, debido al movimiento de la placa del Pacífico y Norteamericana, que se mueven en direcciones opuestas y que son propugnadas por la famosa falla de San Andrés, en California Estados Unidos (Figura 4), lo cual producirá que en los próximos 50 000 años la Península de Baja California se separará de México y se desplazará hacia el norte a razón de 6 cm cada año. Se calcula que llegará frente a Alaska en unos 50 millones de años.

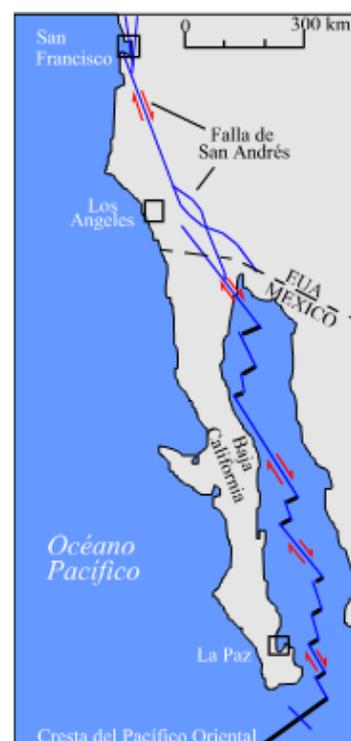


Figura 4. Falla de San Andrés

La posición geográfica del estado de Baja California Sur, entre los 22°52' y los 28° de latitud norte, lo ubica dentro de la influencia del cinturón de desiertos del planeta (Figura 5). La principal causa de formación de estos desiertos o zonas áridas, es que coinciden con las regiones permanentes de alta presión, con aire seco y descendente, que se localizan entre los

23° y 30°. Debido a esto, gran parte del estado es árido, y las regiones que no lo son, como es el caso de la Sierra de La Laguna al sur del estado, es debido a la gran altura que presenta.

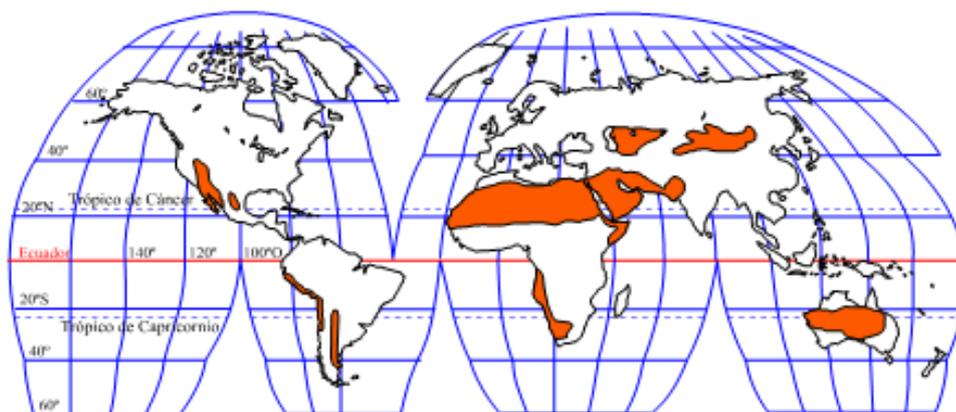


Figura 5. Cinturón de desiertos en el planeta. Fuente: Geosudcalifornia, geografía, agua y ciclones, 1988.

La cuenca de La Paz se sitúa en la parte Suroriental de la Península de Baja California. Tiene una superficie total de 1221 km² y presenta una forma cercana a la circular. Pertenece al estado de Baja California Sur o *Sudcalifornia*, nombre coloquial que recibe por parte de sus pobladores.

En este estado ha surgido la metáfora de que el mismo puede ser considerado como una isla, al estar separada por aproximadamente 200 km del resto del macizo continental y ser rodeada por agua en tres de sus costados, lo cual ha producido a lo largo del tiempo, cierto aislamiento de la población estatal del resto del territorio mexicano.

A continuación se presenta un mapa de situación de la zona de estudio.

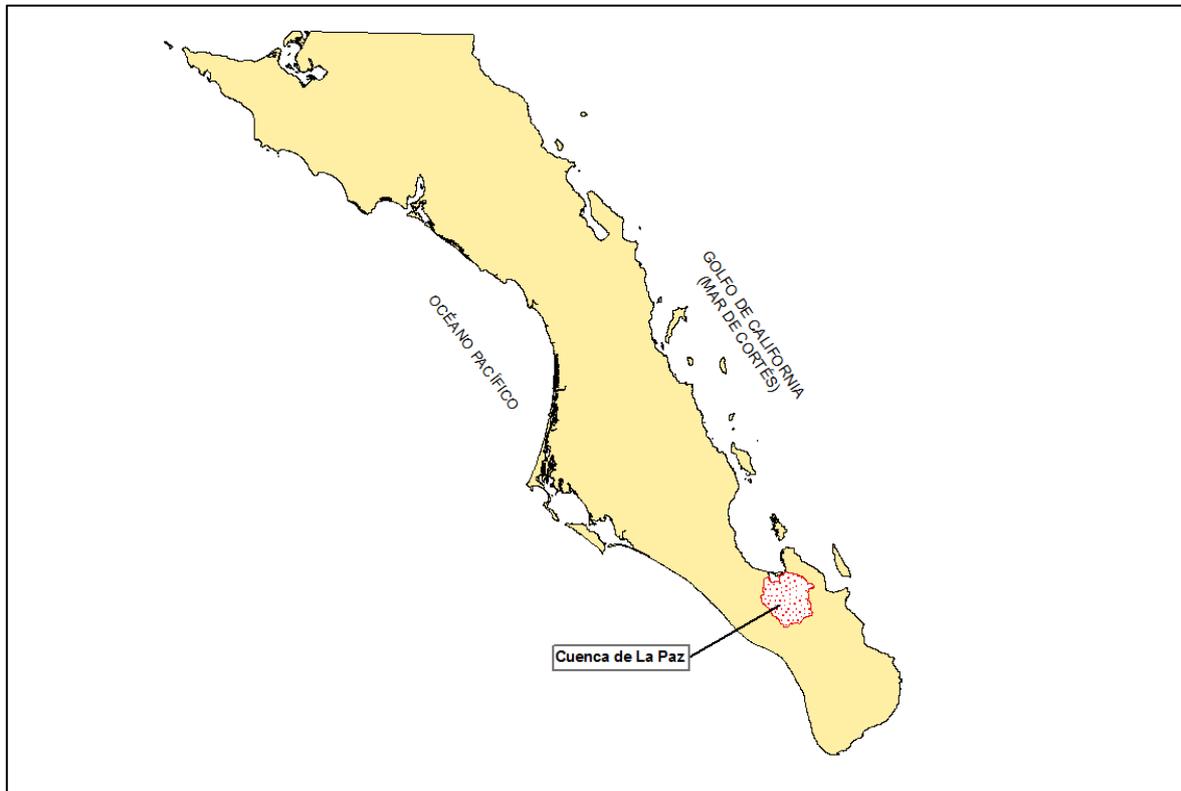


Figura 6. Ubicación de la cuenca hidrográfica de La Paz en el estado de Baja California Sur. Elaboración propia en base a los Datos Geográficos de la Dirección General de Geografía del INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2001.

2.2.1.1. Localización geográfica

La cuenca de La Paz está situada entre los paralelos $24^{\circ}10'26.60''$ N y $23^{\circ}46'51.99''$ N, y entre los meridianos $110^{\circ}29'32.27''$ W y $110^{\circ}04'56.46''$ W, dentro del municipio de La Paz, en Baja California Sur, México. Colinda al Norte con la Ensenada La Paz, zona que representa el último punto de alimentación para las aves playeras que migran por la península (en otoño) o el primero (en primavera). En general, sus aguas presentan poco oleaje, lo que permite que en la porción sur de la ensenada el sedimento se deposite y forme una planicie de

inundación, donde las aves playeras se alimentan. Hacia el Este, limita con la Sierra Las Cruces, con una altura máxima de 1270 m, en el Cerro El Puerto, y con poblados como San Juan de Los Planes, El Sargento y La Ventana, estos dos últimos situados en la costa del Golfo de California. En la zona sur, colinda con la Sierra La Trinchera, que en las cercanías del poblado de San Antonio asciende a los 910 m de altura. Más hacia el sur, está la Sierra Los Chiles, en las inmediaciones de los poblados de El Triunfo y San Antonio, la cual integra la unión de la ramificación oeste con la Sierra La Laguna, la cual en su cumbre posee una elevación de 2090 m, cercana a la altura de la Ciudad de México. Ahí se ubican 11,600 hectáreas designadas como Reserva de la Biosfera, para proteger las ecozonas áridas de bosques perennes, coníferos y matorrales que poseen alta biodiversidad y riqueza de especies endémicas. Hacia el oeste, se localiza la Sierra de los Filos del Treinta y cinco.

La base cartográfica referente a la cuenca de La Paz está representada en Anejo III Mapas.

2.2.1.2. Caracterización general de la cuenca

La cuenca de La Paz en su parte noreste abarca a la ciudad capital del estado de Baja California Sur, La Paz, que tiene una población cercana a los 251,000 habitantes, siendo la cuarta ciudad más grande en la Península, después de Tijuana, Mexicali y Ensenada en el vecino estado de Baja California (Figura 7). Por lo cual es de suponerse, que en gran medida, la atención principal por parte del Gobierno Estatal y Municipal lo recibe la zona urbana de la ciudad de La Paz, al ser el núcleo poblacional más importante en la región, tanto por la demanda de servicios, como por ser la capital del estado.

En la región de La Paz predominan los ecosistemas desértico y árido. La lluvia es poco frecuente y alcanza un promedio de sólo 180 mm al año, la más baja de entre todos los estados de México. Adicionalmente, es interesante considerar que en una zona árida, la lluvia más representativa, no es el valor medio, sino la moda, que en el caso de la cuenca de La Paz, se reduce a 100 mm, cantidad de la cual la mayor parte, un 90%, es evaporada, y solo el restante queda disponible para producir escorrentía superficial en arroyos y una urgente y necesaria recarga para los acuíferos en la región. La mayor parte de las precipitaciones proviene de los huracanes, fenómenos meteorológicos que han provocado, al menos en los últimos años, desastres históricos en esta región.

La cuenca de La Paz no tiene ríos o corrientes de aguas superficiales permanentes, situación que se repite a lo largo de todo el estado de Baja California Sur. La única fuente confiable de agua es la subterránea, acotada al acuífero de La Paz, que abastece a ciudades como La Paz, Chametla, El Centenario, San Pedro y proporciona el suministro de agua para usos industriales, pecuarios y agrícolas de las zonas circunvecinas.

La parte alta de la cuenca, en la zona oeste, que incluye a las formaciones serranas como la Sierra El Novillo y Sierra Las Cruces, se encuentra altamente erosionada, debido a la escasez de vegetación que permita afianzar el terreno, adicionalmente se presenta un alarmante sobrepastoreo, actividad comúnmente ejercida por los rancheros, población rural que vive en pequeñas comunidades denominadas rancherías o ranchos.

En las cercanías de la ciudad de La Paz, se localiza un sistema de falla transpeninsular con orientación norte-sur, conocido como “Falla de La Paz”. Tiene un ancho aproximado de 2 km y presenta rocas trituradas que muestran indicios de deformación a varios kilómetros de profundidad, lo cual indica la profundidad de la falla, y el consecuente levantamiento a la superficie y su erosión.

La Sierra El Novillo, está formada por material fundido proveniente del interior de la tierra que se solidificó antes de emerger a la superficie, localizada al este del poblado de San

Pedro y visible desde la carretera La Paz-Los Cabos. En la Sierra Las Cruces, al este de la ciudad de La Paz, drenan varias corrientes, como el Arroyo El Cajoncito, en la cual se localiza la Presa La Buena Mujer, que regula parte de su cuenca y se cimenta sobre material de la Falla de La Paz.

En contraparte, sobre la parte baja de la cuenca, que es una gran planicie, que se estrecha cuando se acerca a la costa, la velocidad de la escorrentía tiende a disminuir, lo que ocasiona que el área de inundación sea más grande y que las partículas de arrastre se sedimenten y propaguen la divagación de cauces.

La población en la cuenca de La Paz muestra un sesgo en cuanto a la distribución de la misma, pues un gran número de sus pobladores habitan en pequeñas comunidades o rancherías, que comúnmente tienen menos de 100 habitantes, y que en gran medida generan una problemática relacionada con el abastecimiento y distribución de servicios básicos como educación, seguridad, protección civil, vías de comunicación, al ser estos pequeños núcleos poblacionales de difícil acceso. Aunque por otro lado es importante recalcar que estas comunidades representan y son sinónimo de la real identidad del hombre de campo sudcaliforniano, que conoce, preserva y ha valorado su entorno a través de los años (Crosby, 1992).

2.2.2. Geología y Litología

La litología de la zona de estudio es muy variada, constituida de la siguiente manera: en dirección norte partiendo de la ciudad de La Paz afloran rocas volcánicas adyacentes a depósitos cuaternarios, a continuación se localiza un depósito de granito y hacia el sur de la zona una pequeña porción de grabo-diorita. Finalmente en la parte oeste se localizan grandes depósitos cuaternarios.

La síntesis geológica de la zona se conoce a partir del Mesozoico, abarca rocas metamórficas e intrusivas, afectadas por plutones que varían en composición granítica a máfica y que conforman el complejo cristalino de La Paz o Bloque de Los Cabos que forman parte del terreno Pericú. El Cenozoico se encuentra representado por rocas extrusivas y volcanoclásticas, además de secuencia sedimentarias marinas y continentales.

El Mioceno, esta representado por las rocas volcánicas que conforman la cresta de la sierra de la Giganta y terminan al sur de La Paz. La formación es una secuencia de rocas volcánicas y volcanoclásticas constituida por intercalaciones de arenisca volcánica y aglomerados, brechas volcánicas de composición andesítico-dacítico-riolítica, tobas riolíticas, derrames de lava andesítica masivos y lahares andesíticos.

El Cuaternario está representado por algunas secuencias sedimentarias marinas, rocas ígneas extrusivas y depósitos clásticos, salinos, aluviales y eólicos. Las unidades más recientes son las áreas adyacentes a la bahía de La Paz, cubriendo a las formaciones mesozoicas y cenozoicas, constituidas por material clástico de origen continental y marino, que conforman depósitos litorales, lacustres, salinos, aluviales y eólicos. Los depósitos de aluvi3n, por su parte, presentan un intervalo granulométrico muy amplio, que va desde limos hasta cantos rodados y que, por lo general rellena partes bajas, lechos de arroyos y pequeñas cuencas, como sucede, por ejemplo, al sur de la bahía de La Paz, donde además de acumulaciones aluviales cuaternarias se presenta una barrera formada por procesos costeros arenosos, que protege un cuerpo de agua lagunar somero.

Las rocas ígneas intrusivas del Mesozoico están representadas por unidades del Cretácico en el bloque tectónico de La Paz-Los Cabos. En esta región, dos terceras partes del área están constituidas por rocas ígneas intrusitas, divididas en tres eventos magmáticos regionales. Debido a la evolución geológica de toda la península de Baja California, el área de La Paz es cortada por fallas transpeninsulares que controlan la geometría de cuencas Cuaternarias y dividen el área en distintos bloques tectónicos. Algunas de las principales estructuras son: falla El Carrizal; falla San Juan de los Planes; falla San Bartolo; falla San José del Cabo y lineamiento La Paz.

La zona de montaña presenta fuertes pendientes (mayores del 4%) y escasa vegetación; cuando llega a suceder una precipitación de tipo ciclónica, se presentan escurrimientos que duran poco tiempo pero grandes gastos y velocidades capaces de arrastrar gran cantidad de material suelto.

En esta zona, la transformación y el deterioro de los ecosistemas por el avance de actividades agropecuarias han generando altas tasas de deforestación, procesos intensos de degradación de suelos, pérdida de biodiversidad, lo cual impacta en la cantidad, calidad y temporalidad del recurso agua; esto constituye hoy en día, uno de los principales limitantes del desarrollo humano y supervivencia de ecosistemas. El conflicto entre desarrollo y conservación es especialmente notable en la parte alta de la cuenca de La Paz.

En la zona de transición se forma un abanico aluvial.- en esta zona el sistema de drenaje no está definido; dependiendo de las condiciones de distribución espacial y temporal de la lluvia, infiltración y escurrimiento, se puede presentar socavación o depósitos que pueden cambiar los rumbos de los cauces (cauces divagantes).

Es la zona considerada como área de crecimiento de la ciudad de La Paz, en esta zona las pendientes son del orden del 1%, con escurrimientos extraordinarios el agua se extiende y cruza con velocidades más bajas. Los cauces se encuentran azolvados y en crecidas extraordinarias tienden a desbordarse.

2.2.2.1. Edafología y estratigrafía

El origen geológico, la litología, las condiciones climáticas y el relieve presentes en la zona de estudio han determinado suelos de escaso desarrollo genético, es decir poco profundos y muy susceptibles a la remoción de sus partículas.

Gran parte de los suelos de la zona presentan alto contenido de cuarzo y carbonatos al derivarse de rocas ígneas ácidas y graníticas que al intemperizarse generan suelos de textura gruesa o media, con alta permeabilidad lo que les impide retener agua o nutrientes, por lo que su fertilidad resulta baja.

En la zona de La Paz los suelos predominantes son los Regosoles éútricos, especialmente en la parte Norte de la zona de estudio asociados a Yermosoles háplicos, Litosoles y en las zonas de inundación Fluvisoles éútricos. Hacia el Este de la zona de estudio, existe una franja de Litosoles. Finalmente, hacia el Sur y Oeste predominan los Yermosoles lúvicos y háplicos asociados a Regosoles éútricos.

Las texturas de los suelos presentes en la zona de estudio son de gruesas (arenosas) a medias (limosas) y una escasa presencia de arcillas. Los suelos de textura gruesa son aquellos que en la superficie son arenosos, lo que puede ser causa de poca retención de agua o nutrientes en los mismos. A su vez, los suelos con textura media semejante a los limos de los ríos, presentan menos problemas de drenaje, erosión y fertilidad.

En casi toda la zona de trabajo se presentan fases físicas líticas que dificultan el uso del suelo para actividades agrícolas.

Los suelos presentes en la zona de estudio se clasifican como suelos con algunas limitaciones para el desarrollo de asentamientos humanos, en donde se tiene que tomar en cuenta el tipo de pendiente en el que se ubican.

En la parte sureste se debe tener especial cuidado por la presencia de suelos que poseen características poco favorables para el desarrollo urbano, debido a la posibilidad de inundación constante.

En general, los suelos de la zona de estudio presentan varias limitaciones simultáneas (baja calidad de los suelos, aridez excesiva, pendientes moderadas, salinidad, etc.), aunque es posible aprovecharlos para la agricultura resulta muy costoso por la demanda fuerte de insumos que requieren.

En su parte septentrional, se encuentra la parte activa del abanico aluvial del Arroyo del Cajoncito, uno de los cauces principales de la Sierra de Las Cruces. Esta zona está desprovista de arroyos y durante la época de crecidas, es el área donde se deposita en una buena parte el material que ha sido acarreado por el arroyo.

La Sierra de Las Cruces y sus estribaciones septentrionales presentan la característica de que la altura de cota va aumentando gradualmente desde el Golfo de California hasta alcanzar un máximo en el Cerro El Puerto. El patrón de drenaje se considera que está grandemente influenciado por los juegos de fracturas que cortan a las rocas graníticas. Por lo cual se plantea la deducción de que esta sierra fue formada por fallamiento de bloques y constituye un pilar tectónico.

De acuerdo a la información proporcionada por Frizell y Ort, en el área estudiada afloran rocas ígneas intrusivas y metamórficas de edad cretácica, así como rocas volcánicas del Terciario medio (Hausback, 1983) y rocas sedimentarias.

Las rocas más antiguas que afloran en el área estudiada pertenecen a lo que se ha llamado “Complejo Cristalino de La Paz” (Ortega-Gutiérrez, 1982). Estas rocas afloran en la Sierra de Las Cruces y en una serie de lomeríos bajos localizados en sus estribaciones occidentales. También afloran granitos, rocas gabroicas sin deformación aparente y metasedimentos. En una porción amplia de la región suoriental de la Sierra de Las Cruces, afloran rocas graníticas, son de color rosa, holocristalinas y de grano medio a grueso. Se constituyen por cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa y biotita.

La secuencia volcanosedimentaria difiere en distintas zonas dentro de la cuenca. Pues no existe una sola capa, o cuerpo de roca, que sirva como horizonte índice o marcador a través de toda la región que sugiera la posición que ocupa una unidad determinada en la secuencia. En las inmediaciones de La Paz, predominan areniscas volcánicas de grano grueso. El tamaño de los fragmentos en los conglomerados oscila entre 1 y 15 cm y predominan los fragmentos de 3 a 5 cm.

2.2.2.2. Clasificación de las litofacies según su repercusión en los procesos erosivos

Según el grado de erosionabilidad y los materiales que con anterioridad han sido descritos, se pueden agrupar en las siguientes clases.

Tabla 3. Clasificación litológica según nivel de erosión

Nivel de erosión	Clasificación litológica	
a. Muy erosionable	Cuaternario	Playa y cordón litoral. Arenas con conchas. Terrazas. Depósitos Aluviales modernos de fondo de rambla. Abanico aluvial. Arenas arcillosas con cantos redondeados. Depósitos de albufera. Fangos y turba Limos arenosos de albufera. Limos eólicos
b. Erosionable	Cuaternario	Coluvión moderno: Cantos angulosos y arcillas. Arcillas de descalcificación Glacis de acumulación. Arcillas y cantos con costras discontinuas. Depósitos de pie de monte. Arcillas con cantos cementados superficialmente. Coluvión antiguo: Arcillas con cantos cementados superficialmente.

	Mioceno Superior	Margas en facies tap
	Mioceno Inferior	Conglomerados
	Senoniense	Margas y calizas arenosas
	Albiense	Margas
	Cretácico Inferior	Arcillitas margosas
	Triásico superior	Arcillas, margas y yesos en fase keuper.
c. Poco Erosionable	Cuaternario	Depósitos aluviales antiguos: conglomerados encostrados
	Oligoceno	Calizas
	Senoniense	Calizas y margas
		Calizas y dolomias
	Turonense-Cenomaniense	Dolomias y calizas masivas
	Cretácico inferior	Calizas y margas
	Malm-Cretácico Inferior	Calizas y margas
Malm	Calizas	

Fuente: Vera, J.A. 2004

De acuerdo a la clasificación anterior, según las zonas litológicas presentes en la cuenca, el nivel de erosión se representa de la siguiente forma:

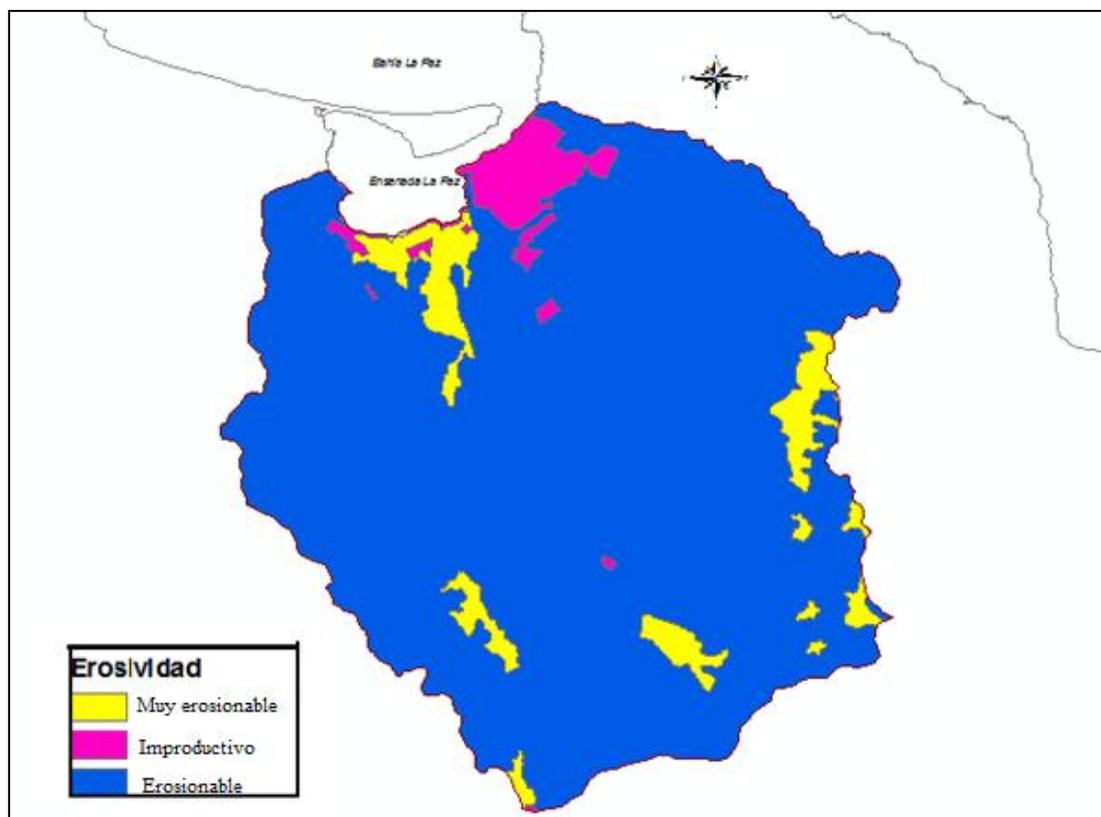


Figura 8. Clasificación de las litofacies, de acuerdo a la influencia en los estados erosivos. Fuente: Elaboración propia en base a la cobertura de Degradación Nacional de Suelos, de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

2.2.3. Descripción de los suelos

Debido al origen geológico, la litología, las condiciones climáticas y el relieve presente en la zona de estudio, han determinado suelos de escaso desarrollo genético, es decir poco profundos y muy susceptibles a la remoción de sus partículas.



Figura 9. La cuenca de La Paz con sus sierras y valles principales.

De acuerdo a la carta edafológica del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), la mayor parte del área en estudio corresponde a un suelo yermosol (color amarillo), es de color claro y muy pobre en materia orgánica; otro tipo de suelo predominante es el regozol (color crema), homogéneo, también de color claro y presenta alto contenido de arenas.

En la sierra El Novillo, predomina el suelo oscuro denominado feozem (color naranja), suave y rico en materia orgánica y nutrientes. Todos estos suelos presentan gran susceptibilidad a la erosión, dependiendo no sólo de la edafología, sino también en áreas con pendientes pronunciadas y en zonas altamente deforestadas por el sobrepastoreo.

En la zona de La Paz, predominan los Regosoles éutricos, de forma especial en la parte Norte de la zona de estudio asociados a Yermosoles háplicos, Litosoles y en las zonas de inundación Fluvisoles éutricos. Hacia el Este de la zona de estudio, existe una franja de

Litosoles. Finalmente, hacia el Sur y Oeste predominan los Yermosoles lúvicos y háplicos asociados a Regosoles éutricos.

Gran parte de los suelos de la zona presentan alto contenido de cuarzo y carbonatos al derivarse de rocas ígneas ácidas y graníticas que al intemperizarse generan suelos de textura gruesa o media, con alta permeabilidad lo que les impide retener agua o nutrientes, por lo que su fertilidad resulta baja.

Las texturas de los suelos presentes en la zona de estudio son de gruesas (arenosas) a medias (limosas) y una escasa presencia de arcillas. Los suelos de textura gruesa son aquellos que en la superficie son arenosos, lo que puede ser causa de poca retención de agua o nutrientes en los mismos. A su vez, los suelos con textura media semejante a los limos de los ríos, presentan menos problemas de drenaje, erosión y fertilidad.

Los suelos presentes en la zona de estudio se clasifican como suelos con algunas limitaciones para el desarrollo de asentamientos humanos, en donde se tiene que tomar en cuenta el tipo de pendiente en el que se ubican.

En la parte sureste se debe tener especial cuidado por la presencia de suelos que poseen características poco favorables para el desarrollo urbano, debido a la posibilidad de inundación constante. En general, los suelos de la zona de estudio presentan varias limitaciones simultáneas (baja calidad de los suelos, aridez excesiva, pendientes moderadas, salinidad, etc.), aunque es posible aprovecharlos para la agricultura resulta muy costoso por la demanda fuerte de insumos que requieren.

Para la realización de posteriores análisis, se hizo uso del estudio geohidrológico realizado para la región, “Estudio Geohidrológico complementario de las Cuencas La Paz-El Carrizal, para proporcionar agua en bloque a la ciudad de La Paz, B.C.S.” En el cual se efectuó un muestreo de suelos en 154 puntos de la zona, con lo cual solamente se utilizaron

115 puntos de muestreo, que son los que se ubican dentro de la cuenca de La Paz. A pesar de que este estudio fue elaborado en el año 1985, se considera de gran utilidad la información ahí descrita, pues es la única fuente de datos cotejada en campo que existe sobre la región.

En este estudio se recoge una clasificación textural de los suelos de la región, así como un análisis granulométrico de los mismos, incluyendo datos de permeabilidad, porosidad eficaz, PH, y porcentaje de saturación.

2.2.4. Clima

Baja California Sur forma parte de un cuerpo muy especial, la península de Baja California, única en muchos aspectos: su característica forma alargada, posición geográfica con su mayor parte dentro de la zona subtropical y una porción en la zona tórrida, limitada en tres de sus costados por mares con propiedades distintas. Esto produce, junto con otros factores externos, una serie de características especiales en cuanto a la descripción del clima se refiere.

En la cuenca de La Paz uno de los aspectos climáticos primordiales a resaltar es su aridez. Con una precipitación media anual de 272 mm y una temperatura media anual de 24.8°C, define sin lugar a dudas un clima desértico. Más aún, si en vez de considerarse el valor promedio de lluvia, se toma en cuenta la moda, o valor más frecuente de la precipitación anual, y que suele ser más representativa en lugares desérticos, entonces el valor de precipitación cambia a 139 mm. La precipitación media anual en la zona de estudio presenta una variación que va desde los 50 mm hasta los 400 mm en la zona alta de la cuenca.

Las variaciones de temperatura y los subtipos presentes son cálidos, semicálidos y templados. La característica principal es lo extremoso de sus temperaturas diurnas y la gran sequedad ambiental. Se han registrado temperaturas máximas de 40 a 44°C en verano y temperaturas mínimas de 10-16°C en invierno.

Consecuentemente la vegetación existente en gran parte de la cuenca La Paz, excluyendo la zona sureste de la Sierra El Novillo, pertenece al Desierto Sonorense, desarrollando en gran medida las plantas comunes del desierto, las xerófilas, condicionadas a una economía extrema en el uso del agua.

Debido a la enorme importancia que tiene el agua para una zona árida, como lo es la cuenca de La Paz, es conveniente pensar en la lluvia en términos estacionales y no anuales. Aunque para hacer referencia a esto las estaciones del año se clasifiquen hasta cierto punto de modo arbitrario, comenzando con el invierno de diciembre a febrero, primavera de marzo a mayo, verano de junio a agosto, y otoño de septiembre a noviembre. La temporada de sequía dura alrededor del verano y se rompe un poco al inicio del otoño. El mes más seco del año es mayo.

Las principales corrientes aéreas soplan paralelas al sistema orográfico de la región. Sobre el Océano Pacífico los vientos superficiales del noroeste son fuertes, en cambio por el lado del Golfo de California soplan vientos del sureste muy débiles, que solamente se ven alterados por las tormentas eléctricas que llegan a afectar la costa oriental. Estos vientos traen aire húmedo y son un reflejo del movimiento de la zona de baja presión, que en invierno se localizaba más al sur (Figura 10).

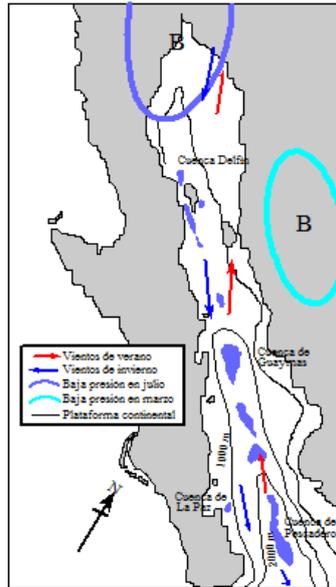


Figura 10. Localización de los vientos de verano e invierno, y el movimiento de la zona de baja presión de marzo a julio, y batimetría del Golfo de California. Fuente: Geosudcalifornia, geografía, agua y ciclones, 1988.

Las precipitaciones de verano en la zona de estudio suelen tener un carácter orográfico (Figura 11) , es decir siguen con cierta fidelidad el relieve de la región y van asociadas a las altas montañas, adicionalmente presentan un régimen convectivo, o asociado a movimientos ascendentes de aire húmedo; donde esta última lluvia suele ir acompañada de rayos y truenos.

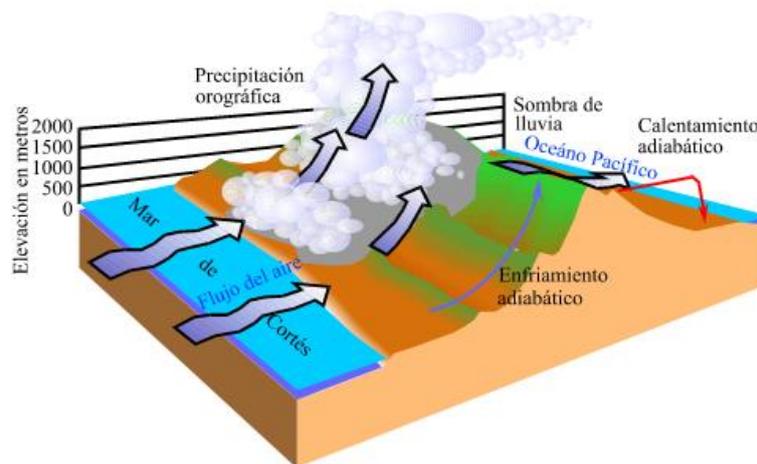


Figura 11. Lluvia orográfica, como un resultado del ascenso de aire húmedo sobre la ladera de una montaña (barlovento), con la consecuente sombra de lluvia, o escasez de ella, en la ladera opuesta a donde sopla el viento (sotavento). Fuente: Geosudcalifornia, geografía, agua y ciclones, 1988.

Otoño es una estación complicada de caracterizar, debido a la combinación de diversos procesos que en ella acontecen. En primer lugar, recibe la influencia de ciclones tropicales. La temporada de estos meteoros discurre, de mayo a noviembre, aunque desde fines de agosto a inicios de septiembre se presenta la máxima incidencia de ciclones. La mayor parte de los ciclones se origina en las inmediaciones del Golfo de Tehuantepec (Figura 12) y se mueven hacia el noroeste por el Océano Pacífico, no obstante ocasionalmente, recurvan hacia la Península de Baja California, alimentados por las cálidas aguas del Golfo de California.

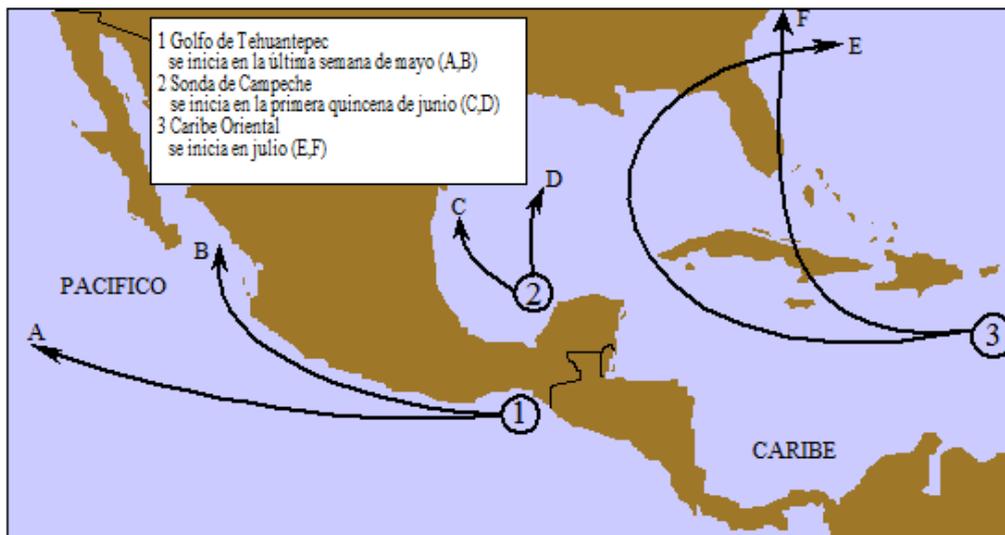


Figura 12. Zonas de formación de ciclones con afección a la República Mexicana. Fuente: Geosudcalifornia, geografía, agua y ciclones, 1988.

La presencia de ciclones en la cuenca de La Paz, no es un fenómeno aislado, pues estos fenómenos tienden a cambiar considerablemente, las condicionantes preestablecidas de la zona, es decir, el promedio de precipitación del lugar, debido a su carácter torrencial.

En octubre, la región se encuentra bajo la influencia de los vientos del oeste al suroeste y la precipitación tiende a ser escasa, pero para el mes de noviembre, el régimen invernal empieza a dejar sentir su influencia, con lo que se acercan las consecuentes lluvias invernales de esa temporada.

2.2.4.1. Elección de observatorios meteorológicos

Para la realización de este trabajo se creó una base de datos de precipitación pluvial (valores totales, mensuales y anuales) de las estaciones u observatorios meteorológicos del estado de Baja California Sur, en específico de la zona circundante a la cuenca de La Paz (Figura 13). Estas estaciones meteorológicas dependen directamente del organismo oficial encargado de administrar y preservar las aguas nacionales de México, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), que entre sus dependencias cuenta con el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), que a su vez es el encargado de dar a conocer la información del estado del tiempo que prevalece o afecta al territorio mexicano, y que entre sus labores, abarca la operación de los observatorios meteorológicos, las estaciones de radiosondeo y radares meteorológicos existentes.

De acuerdo al criterio de proximidad geográfica para la cuenca de estudio, los observatorios meteorológicos seleccionados son los siguientes:

Tabla 4. Observatorios meteorológicos cercanos a la cuenca de La Paz.

Número	Nombre de la Estación	Municipio	Altitud (m)	Coordenadas UTM		Temperatura media(°C)	Precipitación media anual (mm)
				X	Y		
1	El Cajoncito	La Paz	180	580714.213	2670601.372	23.7	220.7
2	El Carrizal	La Paz	180	574333.411	2627354.176	22.1	246.9
3	El Triunfo	La Paz	432	590748.032	2632614.788	21.3	427.1
4	Lagunillas	La Paz	200	566037.865	2655914.233	24.4	295.9
5	La Paz	La Paz	16	567455.382	2669302.082	23.3	182.6
6	Los Divisaderos	La Paz	490	587234.817	2642650.613	22.1	406.7
7	Los Robles	La Paz	665	588974.666	2658501.280	21.7	321.7
8	Los Planes	La Paz	40	608240.172	2651098.098	23.2	165.1
9	San antonio sur	La Paz	375	595923.197	2633171.064	23.1	455.5
10	San Bartolo	La Paz	395	618196.354	2626107.566	22.6	341.8
11	San Pedro	La Paz	190	574915.371	2646118.194	23.1	342.6
12	El Sargento	La Paz	20	617756.142	2662554.335	23.8	139.7
13	El Rosario	La Paz	45	535071.454	2638892.379	20.6	105.6
14	Alfredo B. Bonfil	La Paz	78	557563.055	2672641.807	24.3	149.5

Fuente: Servicio Meteorológico Nacional, Normales Climatológicas para el estado de Baja California Sur.

http://smn.cna.gob.mx/climatologia/normales/estacion/catalogos/cat_bcs.html

Dentro de la cuenca de La Paz, existen 5 observatorios meteorológicos, San Pedro, Lagunillas, La Paz, Los Robles y Los Divisaderos. De ahí, la estación de Los Divisaderos, presenta la serie más larga con 58 años de registro. En zonas circunvecinas se localizan el resto de observatorios meteorológicos, que en buena medida sirven de apoyo para la extrapolación de variables climáticas que posteriormente han de ser utilizadas para la realización de las diversas metodologías de ordenación de cuencas, con la ayuda de herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Las series climáticas de precipitaciones totales mensuales y temperaturas medias mensuales, están en el Anejo I de este documento.

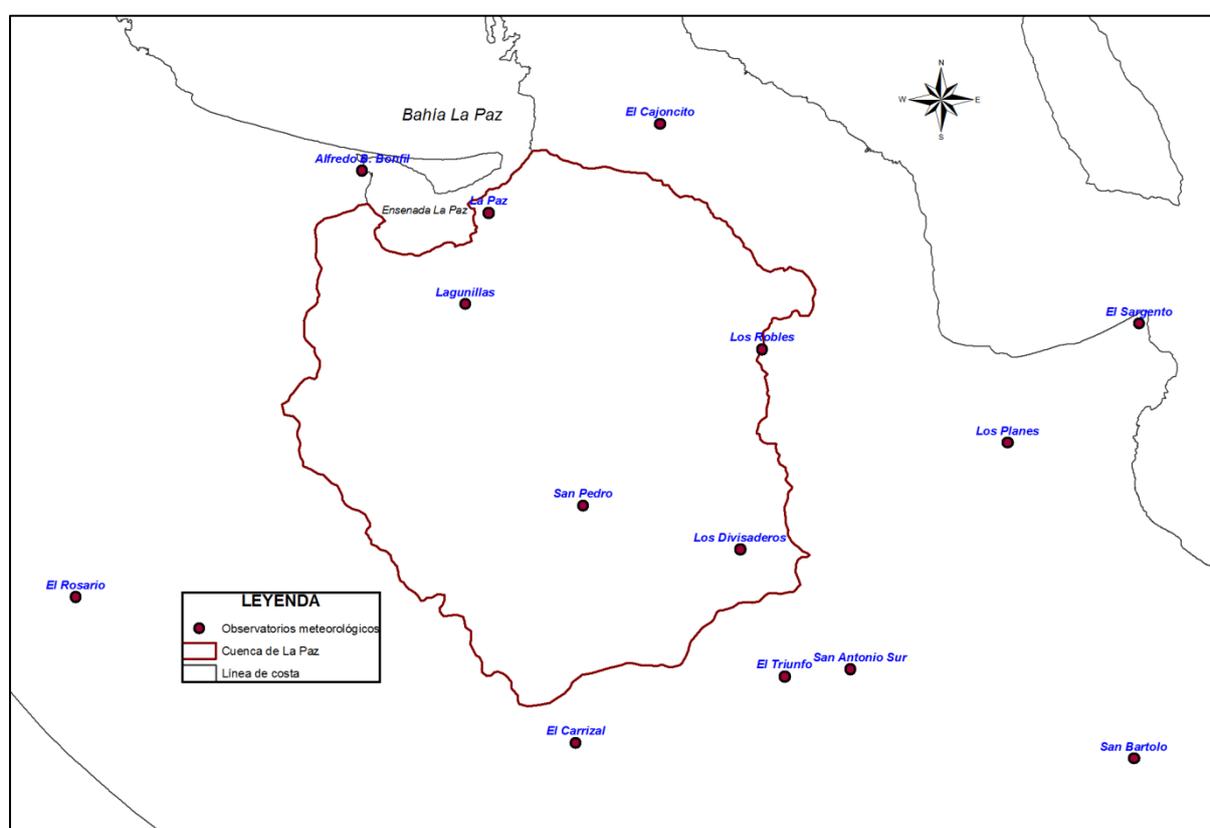


Figura 13. Ubicación de los observatorios meteorológicos, pertenecientes y circunvecinos a la cuenca de La Paz.

2.2.4.2. Balance hídrico

A partir de que la mayoría de corrientes hidrológicas superficiales en la región de estudio, son efímeras y algunas hasta son intermitentes, existen escasos registros de datos pluviométricos disponibles, dado que ninguna de las corrientes está aforada y la información

existente se limita a datos en ciertas obras de almacenamiento. Desafortunadamente esta falta de información y evidente desinterés por parte de los organismos competentes en proporcionarla, ha sido un constante problema para la elaboración de estudios hidrológicos que determinen o detallen de una manera precisa qué fenómenos o cambios han estado presentándose en la cuenca de estudio, situación que se repite a lo largo del territorio mexicano.

Los diferentes estudios realizados sobre los volúmenes disponibles para usarse en la ciudad de La Paz difieren según el área de estudio considerada. Aún cuando localmente es común usar los términos cuenca y acuífero de forma intercambiable, realmente son conceptos distintos. Es decir, la cuenca de La Paz está delimitada por las características topográficas que definen los escurrimientos superficiales, mientras que el acuífero de La Paz está delimitado por las características geofísicas del suelo que definen el movimiento y almacenamiento de flujos de agua subterráneos. La cuenca de La Paz incluye el polígono decretado como el acuífero en veda de La Paz.

La evapotranspiración potencial promedio en las zonas agrícolas del municipio varía de 1510 a 1554 mm anuales. En la mayor proporción (55%) de la superficie es de 1541 a 1554 mm, en un 26% de 1521 a 1530 mm, en el 11.5% de 1531 a 1540 y en el resto de la superficie de 1510 a 1520 mm. Las zonas con la mayor evapotranspiración potencial (ETP) son las de La Paz y Los Planes en el rango de 1540 a 1554 mm, seguido de Santa Fe; después la de El Carrizal y El Pescadero entre 1520 a 1530 mm y la de menor ETP es la zona de Todos Santos (Sánchez, 2004).

La radiación solar diaria promedio que incide en las zonas agrícolas del municipio, varía de 792 a 798 cal cm⁻² día⁻¹, con un gradiente de una mayor radiación en las zonas del sur y disminuye hacia las localidades que se encuentra hacia el norte; esto debido a las diferencias en latitud de las localidades.

Flujos Superficiales

En la Cuenca de La Paz no existen ríos que tengan flujos superficiales de forma permanente, sin embargo, la extensión de la cuenca está definida por los arroyos intermitentes originados en las Sierras de Las Cruces y El Novillo y la planicie en la que se distribuyen estos escurrimientos hasta su desembocadura en la Bahía de La Paz. Aunque el área estimada de la cuenca varía por estudio (947 a 1,571 km²; CONAGUA 2002, Cruz 2007), la Cuenca de La Paz incluye el acuífero del mismo nombre, extendiéndose más allá de los límites de éste hasta el parte aguas de las sierras mencionadas.

Recarga del Acuífero de La Paz

El acuífero de La Paz está delimitado por el área en el subsuelo en el que se almacenan los volúmenes superficiales que se infiltran o que fluyen de forma subterránea. Las zonas de mayor captación de precipitación pluvial por infiltración se encuentran en el este y sureste de la cuenca en las sierras de Las Cruces y El Novillo. Se estima que en la subcuenca de El Novillo se capta cerca del 47% del agua que recarga el acuífero de La Paz, el resto proviene de las subcuencas de los arroyos La Palma (22%), El Cajoncito (10%), La Huerta (8%), La Ardilla (7%) y otros escurrimientos menores (6%) (Cruz, 2007).

Al igual que el área de la cuenca, la extensión del acuífero de La Paz también varía de un estudio a otro de 115 a 600 km² (Cruz, 2007). Estas variaciones afectan las estimaciones de los volúmenes disponibles y volúmenes que se recargan porque están en función del área bajo consideración y el método utilizado. De esta forma, el estimado anual de volumen de recarga del acuífero también varía por estudio de entre 10 y 27.75 millones de metros cúbicos (Mm³). La razón de recarga de agua en el acuífero por área estimada varía por estudio, el rango estimado es de entre 0.016-0.241 Mm³/km² (Cruz, 2007). Las cifras oficiales indican una recarga total de 27.75 Mm³ y una recarga de 0.241 Mm³/km² (CONAGUA, 2008).

Como consecuencia, el balance de agua total anual estimado presenta un déficit con un rango muy amplio. El estimado oficial 0.58 Mm³; (CONAGUA, 2008) implica que la

recarga del acuífero y la extracción de agua del subsuelo están en ligero déficit, mientras que cuatro estudios más muestran que el desbalance es más significativo de -8.98 a -20 Mm³/año; (Cruz, 2007).

La seriedad de este desbalance entre extracciones y recarga se confirma con el aumento en la profundidad de los niveles estáticos del agua de pozos y la creciente salinización del agua extraída de los pozos más cercanos a la costa. Las mediciones del nivel estático promedio de los pozos en 1989 era de 25 metros, mientras que para el año 2000 fue de 30.5 metros (CONAGUA, 2008). Es decir, en once años, la profundidad promedio del espejo de agua del subsuelo aumentó en 4.5 metros. Otros estudios señalan que la cuña de la intrusión salina se extiende ahora de entre 5 y 6 km tierra adentro de la línea de costa (Cruz 2007).

La profundidad estimada del acuífero de La Paz es de 400m (Cruz, 2007). El volumen de agua aproximado que se encuentra almacenado en el acuífero es de alrededor de 9,467 Mm³, sin embargo, también se vislumbra que sólo el 10% está realmente disponible para extracción (947 Mm³; Cruz 2007). Esto implica que la vida útil de este acuífero podría ser de entre 47 y 105 años (usando el rango más serio de déficits estimados) y de hasta 315 años (usando el déficit estimado por CONAGUA). Aunque estos cálculos no consideran el efecto de intrusión salina ni el aumento de la demanda por crecimiento poblacional, permiten deducir las consecuencias de seguir extrayendo volúmenes del subsuelo que rebasan la capacidad de recarga del acuífero y provoquen su salinización.

Extracción de Volúmenes (Superficial y Subsuelo)

Dado que no hay corrientes de agua superficial que fluyan de forma permanente, no se han dado derechos sobre volúmenes superficiales en ésta cuenca y todas las extracciones realizadas son del subsuelo. El volumen de agua del acuífero de La Paz que ha sido concesionado a los distintos tipos de usuarios es de 30.6 Mm³ (CONAGUA, 2008). Sin embargo el volumen real extraído se estima que varía entre 28.33 y 34 Mm³ anualmente. No todas las extracciones autorizadas tienen medidor y también existen extracciones no

autorizadas o no contabilizadas, por lo que la extracción total anual se cree que sea mayor a estos estimados. De las tomas de agua domiciliarias, se estima que el 44% tiene medidor (SEMARNAT, 2004); las demás viviendas conectadas a la red de agua potable pagan tarifa única sin importar su gasto.

2.2.4.3. Clasificación climática

En esta categoría se hará referencia a los índices climáticos que caracterizan a la cuenca de La Paz, el índice de Thornthwaite, el índice de agresividad del suelo F. Fournier y el índice de aridez de Martonne.

Clasificación climática de Thornthwaite

La clasificación de Thornthwaite (1949) ha sido ampliamente asumida dadas las aportaciones de su autor al edafoclima e hidrología, desde una perspectiva geográfica.

Se basa en la consideración de la eficacia térmica, dada por la evapotranspiración (ETP) del mismo autor, y la humedad disponible, expresada como índices de humedad y de aridez a partir del balance hídrico. Supone un gran avance respecto a otras clasificaciones ya que parte del clima que afecta al suelo y a la planta, es decir, la evaporación, la transpiración y el agua disponible en el suelo; en vez de medias mensuales de parámetros meteorológicos clásicos.

Esta clasificación define unos tipos según la humedad (representados por letras mayúsculas) y su variación estacional (letras minúsculas), y otros tipos según la eficacia térmica (letras mayúsculas con comilla) y su concentración estival (letras minúsculas con comilla) que se concentra en la Tabla 4.

Según la clasificación Thornthwaite, la mayoría del territorio de la cuenca de La Paz está dominado por los climas C2 A' a'.

Tabla4. Clasificación de climas según sistema Thornthwaite

C/2	Clasificación de climas sistema Thornthwaite
Símbolo	Carácter del clima
A'	Cálido
B'	Semicálido
a'	Sin estación fría bien definida
b'	Con invierno benigno
B	Húmedo
C	Semiseco
r	Sin estación seca bien definida

Índice de Papadakis

Papadakis hace referencia a diez grupos fundamentales de climas, donde cada grupo se caracteriza por regímenes específicos de temperatura y humedad.

La clasificación de Papadakis utiliza, fundamentalmente, parámetros basados en valores extremos de las variables climatológicas, que son más representativos y limitantes para estimar las respuestas y condiciones óptimas de los diferentes cultivos que los empleados en las clasificaciones basadas sólo en valores medios.

Esta clasificación agroclimática se ha de considerar como una caracterización agroecológica a nivel macroclimático, y nunca como un caso a nivel meso o microclimático, ya que en estos niveles intervienen de forma importante factores como la topografía o el relieve.

Según la clasificación agroclimática de J. Papadakis aplicada a la zona de estudio

Los umbrales fijados para caracterizar los tipos climáticos no son arbitrarios, sino que corresponden a los límites naturales de determinados cultivos. En este aspecto resultan relevantes:

- Frío invernal.
- Calor estival.
- Aridez y distribución anual.

Para la cuenca de La Paz, se pueden separar dos zonas claves, la primera, localizada en la parte oriental de la cuenca, presentando las cotas más altas, y bordeada por la Sierra El Novillo, registra una clasificación tipo climático según Papadakis, de Desierto mediterráneo, con tipo de verano Gossypium e invierno Citrus.

La segunda zona comprende la región restante de la cuenca, comprendiendo la parte occidental y el resto de territorio circunvecino a la zona serrana de la Sierra El Novillo. Esta región registra cotas de menor altura sin accidentes orográficos aparentes que se interpongan, y presenta un tipo climático de Desierto continental, con invierno Citrus y verano Gossypium, según la clasificación de Papadakis.

Índice de Lang

Como se suele clasificar al clima de acuerdo a índices o baremos, que intentan dar un tratamiento estadístico, se contemplan promedios de un gran número de datos de precipitación y temperatura. Uno de estos indicadores son los índices de aridez, que pueden ser determinados en base al índice de Lang, y al índice de aridez de Martonne.

El índice de Lang, se define mediante la expresión:

$$Ia = \frac{Pma}{Tma}$$

donde:

Ia= Índice de aridez.

Pma= Precipitación media anual, en mm.

Tma= Temperatura media anual, en °C.

Finalmente se calcula el índice de Lang para la cuenca de La Paz, obteniendo un resultado de 10.97, que de acuerdo a la clasificación de Lang (Tabla 5), corresponde a una zona de desierto.

Tabla 5. Clasificación de Lang para el índice de aridez.

Valor de Ia	Zona
0-20	Desiertos
20-40	Árida
40-60	Húmedas de estepa y sabana
60-100	Húmedas de bosques claros
100-160	Húmedas de grandes bosques
>160	Perhúmedas con prados y tundras

Índice de aridez de Martonne

Para el índice de aridez de Martonne, se expresa la siguiente formulación:

$$Ia = \frac{Pma}{[Tma + 10]}$$

donde:

Ia= Índice de aridez.

Pma= Precipitación media anual, en mm.

Tma= Temperatura media anual, en °C.

De acuerdo a esto, el índice de aridez de Martonne para la cuenca de La Paz se establece en 7.81, lo cual corresponde a una zona de semidesierto (árido) según la clasificación de Martonne (Tabla 6).

Tabla 6. Clasificación de Martonne para el índice de aridez

Valor de Ia	Zona
0-5	Desiertos (Hiperárido)
5-10	Semidesierto (Árido)
10-20	Semiárido de tipo mediterráneo
20-30	Subhúmeda
30-60	Húmeda
>60	Perhúmeda

Clasificación de Köpen

También se encuentra la clasificación de climas de Köpen, que se apoya en datos de temperaturas medias mensuales, temperatura media anual, precipitaciones medias mensuales y precipitaciones medias anuales. La aridez no es un asunto sólo de precipitaciones sino que está definida por la relación entre las precipitaciones que penetran en el suelo en el que las plantas crecen y la evaporación hace que se pierda esa humedad. Mientras que la evaporación es difícil de evaluar y no es una medida convencional en las estaciones meteorológicas, Köppen sustituyó la fórmula que identifica aridez en términos de índice de temperatura-precipitaciones.

Los climas secos se subdividen a su vez en áridos (BW) y semiáridos (BS), y cada uno puede diferenciarse aún más añadiéndole un tercer código, h para cálido y k para frío. El tipo B designa los climas en los cuales el factor determinante de la vegetación es la sequedad (más que las bajas temperaturas). Estos parámetros establecen un tipo dominante de clima para la cuenca de La Paz (Figura 14), de muy seco BW (con lluvias en verano e invierno, escasas todo el año) para la zona de planicie y elevaciones medias, un BSo (con lluvia en verano y escasa a lo largo del año) para la zona oeste de la cuenca, incluyendo la zona serrana.

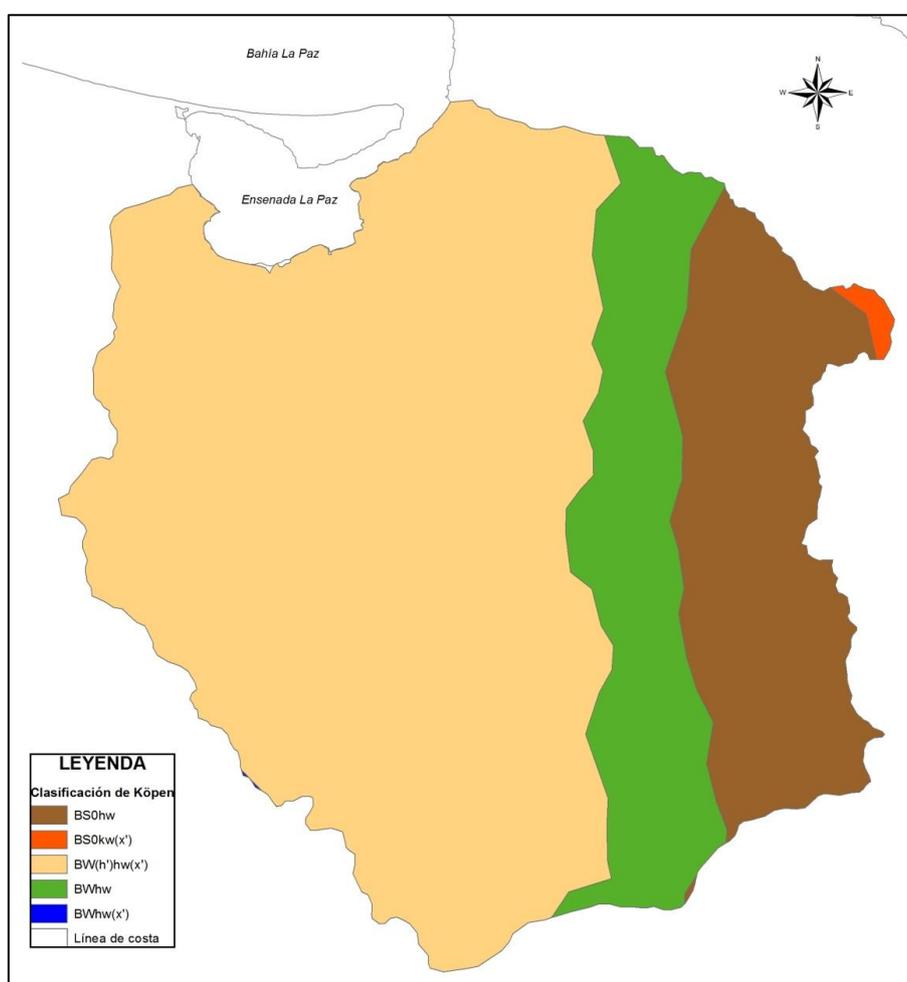


Figura 14. Clasificación de Köppen para la cuenca de La Paz.

Clasificación bioclimática de Gaussen

Entre los sistemas de clasificación bioclimática de la Tierra se pueden destacar el de Gaussen y el de Bagnouls. El botánico francés, en sus ensayos sobre los bioclimas del mundo, desde el primer momento puso de manifiesto la gran importancia que tiene sobre la vegetación tanto el ritmo de las temperaturas a lo largo del año como el de las precipitaciones. Poco después Bagnouls & Gaussen para jerarquizar los bioclimas confirieron un gran valor al empleo de las siguientes nociones:

Mes cálido: mes con temperatura media mensual (T_i) superior a 20° .

Período cálido: conjunto de meses cálidos.

Mes frío: mes con temperatura media mensual (t_i) inferior a 0° .

Período frío: conjunto de meses fríos.

Mes seco: mes en el que la precipitación en mm (P_i) es igual o inferior al doble de su temperatura media en grados centígrados ($P \leq 2T$).

Período seco: conjunto de meses secos. En esta clasificación (figura 13) se reconocen doce regiones bioclimáticas que se agrupan en las siguientes tres grandes categorías o macrorregiones:

a. *Climas cálidos y templado-cálidos*: con la curva térmica siempre positiva; todos los meses $T_i > 0^\circ$, (1 a 7).

b. *Climas fríos y templado-fríos*: los de la curva térmica negativa en algún período del año; algún mes $T_i < 0^\circ$, (8 a 11).

c. *Climas glaciales*: los de curva térmica negativa todo el año; todos los meses $T_i < 0^\circ$, (12).

Tabla 7. Síntesis de las regiones bioclimáticas de Gaussen y otros nombres posibles.

Regiones bioclimáticas	No. meses $T_i > 0^\circ$	No. meses $P_i \leq 2T_i$	Otros nombres
1. Termoerémica	12	12	Desértica cálida
2. Termohemierémica	12	9-11	Subdesértica cálida
3. Termoxerotérica (sequía días largos)	12	1-8	Mediterránea cálida
4. Termoxerochimérica (sequía días cortos)	12	1-8	Tropical cálida
5. Bixérica (dos períodos de sequía anuales)	12	1-11	Bixérica
6. Termoaxérica ($T_{min} > 15^\circ$)	12	0	Axérica cálida
7. Mesoaxérica ($T_{min} < 15^\circ$)	12	0	Axérica templada
8. Psicroerémica	1-11	11-12	Desértica fría
9. Psicrohemierémica	1-11	9-10	Subdesértica fría
10. Psicroxerotérica	1-11	1-8	Submediterránea
11. Psicroaxérica	1-11	0	Axérica fría
12. Criomérica	0	-	Glacial

Respecto a esta clasificación bioclimática, la cuenca de estudio presenta el Tipo Termoerémico o desierto cálido, registrando doce meses con temperaturas mayores al punto de congelación.

Índice de agresividad del clima (F. Fournier)

También llamado índice de la capacidad erosiva de un clima. Fournier ideó un índice simple que da una idea de la erosión que se puede producir en la cuenca debido a factores pluviométricos, es decir, da una primera idea de la torrencialidad de la cuenca. Dicho índice tiene la siguiente expresión:

$$F = \frac{p^2}{P}$$

Donde,

- p precipitación del mes más lluvioso
P módulo pluviométrico (precipitación anual).

Con este propósito, Fournier (1960) estableció el índice de agresividad climática o Índice de Fournier (IF), que muestra una alta correlación con la cantidad de sedimentos arrastrados por la escorrentía.

Arnoldus (1980) propuso una corrección del Índice de Fournier (IF) en que se consideran no sólo la precipitación mensual del mes más húmedo, sino también la del resto de los meses. Este índice modificado de Fournier (IFM) caracteriza la agresividad de la precipitación y se calcula de la siguiente forma:

$$IFM = \sum_{i=1}^{12} \frac{p^2}{P}$$

Donde,

- p precipitación del mes más lluvioso
P módulo pluviométrico (precipitación anual).

Los resultados de la clasificación del Índice de Fournier Modificado se agrupan bajo el siguiente criterio:

Tabla 8. Clasificación bajo el Índice de Fournier Modificado.

IFM	Clasificación de agresividad climática
0-60	Muy bajo
60-90	Bajo
90-120	Moderado
120-160	Alto
>160	Muy alto

Este índice se calculó para una serie de 30 años de duración en cada una de las estaciones meteorológicas involucradas para la cuenca de La Paz. Los resultados son los siguientes:

Tabla 9. Clasificación del IFM para las estaciones climatológicas relacionadas a la cuenca de La Paz.

Estación climatológica	IFM	Clasificación de agresividad climática
El Cajoncito	43.232	Muy bajo
El Carrizal	51.205	Muy bajo
El Triunfo	107.673	Moderado
Lagunillas	57.924	Muy bajo
La Paz	33.798	Muy bajo
Los Divisaderos	93.366	Moderado
Los Robles	69.957	Bajo
Los Planes	36.646	Muy bajo
San antonio sur	102.142	Moderado
San Bartolo	88.991	Bajo
San Pedro	75.533	Bajo
El Sargento	31.045	Muy bajo
El Rosario	17.266	Muy bajo
Alfredo B. Bonfil	31.287	Muy bajo

Fuente: Elaboración propia en base a la información del Servicio Meteorológico Nacional.

Con respecto a los resultados, la mayoría de los valores del Índice de Fournier Modificado se encuentran bajo la clasificación de agresividad climática baja o muy baja.

2.2.5. Vegetación y cultivos

2.2.5.1. Vegetación potencial

La flora en la cuenca de La Paz se presenta como el producto de la interacción de diversos factores, siendo afectada por las condiciones climáticas principalmente áridas de la región. Las comunidades vegetales soportan chubascos, lluvias sumamente torrenciales, que arrasan con suelo, semillas y plántulas; las grandes temperaturas con sus amplias variaciones diarias, limitan el establecimiento de las plantas. En la mayor parte del centro de población se desarrollan matorrales xerófilos¹, como los llamados sarcocaulé², que presentan baja cobertura y están constituidos por gran variedad de formas adaptadas a la aridez, arbustos y herbáceas perennes.

Al sur de la ensenada de La Paz, se encuentran zonas de agricultura de riego, con intercalaciones de matorral crasicaulé y sarcocaulé.

De acuerdo al INEGI, la principal vegetación que se desarrolla en la zona es: torote, cardón, palo adán, lengua de gato, palo verde, Lomboy, choya, pitaya dulce y agria, matorrales, ciruela y mata parda; sin embargo, en la visita al predio San Ángel, se observó que en realidad existe muy poca vegetación, debido al sobrepastoreo.

¹ Reúne las comunidades arbustivas de las zonas áridas y semiáridas de la zona de estudio su flora se caracteriza por que presenta un número variable de adaptaciones a la aridez como son la microfilia, la presencia de espinas y la pérdida de hojas en temporadas sin lluvias, por lo que hay numerosas especies de plantas que solo se hacen evidentes cuando el suelo tiene suficiente humedad, entre los que se encuentran: la gobernadora (*Larrea tridentata*) y el cardón (*Pachycereus pringlei*). Instituto Nacional de Ecología, Los Ecosistemas de México, www.ine.gob.mx

² Caracterizado por la dominancia fisonómica de árboles y arbustos de tallo grueso, semisuculentos, de madera blanda y con algunas especies de corteza papirácea y exfoliante. Especies características: *Agave sebastiana*, *Bursera hindsiana*, *B. microphylla*, *Cercidium sonora*, *Ephedra aspera*, *Lophocereus schottii*, *Pithecellobium confine*, *Stenocereus gummosus*, *Yucca valida*, *Fouquieria diguetii*, *Ruellia californica*, *Opuntia invicta*, *Olneya tesota*, *Pachycereus pringlei*, *Pedilanthus macrocarpus*. Gómez-Pompa, A. y R. Dirzo. 1995. Reservas de la biosfera y otras áreas naturales protegidas de México. INE y CONABIO

Finalmente partiendo de La Paz y hacia Sierra Las Cruces hay una franja de selva baja caducifolia³.

Al norte de la Bahía de La Paz, comúnmente se encuentran: Copal (*Bursera hindsiana*), Sangregado (*Jatropha cinerea*), Palo Verde (*Cercidum microphyllum*), Cardon (*Pachycereus pringlei*) y varias especies de Opuntia y Ferocactus.

Existe una franja de vegetación halófila⁴ en la Bahía la Paz y Punta las Pilitas con especies de mangle negro, así como de matorral de dunas⁵ y matorral inerme⁶.

2.2.5.2. Vegetación actual y distribución de usos del suelo en la zona de estudio

Para la descripción actual de estos usos se utilizó la Cartografía de Usos de Suelo y Vegetación, de INEGI, escala 1: 250 000. A partir de ella, fue posible agrupar los usos de suelo y vegetación de acuerdo a los siguientes criterios:

0. Zona urbana. Comprende las áreas desprovistas de vegetación o con una cobertura vegetal extremadamente baja. Obtenidos de los conjuntos de datos topográficos escala 1: 250 000.

1. Vegetación halófila. La constituyen comunidades vegetales arbustivas o herbáceas que se caracterizan por desarrollarse sobre suelos con alto contenido de sales, en partes bajas de

³ Comunidad vegetal con arboles que se desarrolla en climas calidos y subhmedos, semisecos o subsecos, principalmente en laderas de cerros con suelos de buen drenaje. Clasificación elaborada por el INEGI y basada en las clasificaciones de Miranda y Hernandez (1963) Rzedowski (1978)

⁴ Agrupa especies vegetales con un elevado nivel de tolerancia a la salinidad y alcalinidad del suelo. Su ubicación es muy amplia y corresponde a superficies que estuvieron bajo la superficie del mar. Especies características: *Ambrosia magdalanae*, *Atriplex barclayana* subespecie *schottii*, *Agave vizcainoensis*, *Euphorbia misera*, *Frankenia grandifolia*, *Opuntia cholla*, *Pachycormus discolor*. Gómez-Pompa, A. y R. Dirzo. 1995. Reservas de la biosfera y otras áreas naturales protegidas de México. INE y CONABIO.

⁵ La flora que se logra establecer en esta superficie parece tratar de fijar el suelo inmediatamente pues la estabilidad de las dunas es baja por la acción del viento. Algunas especies constantes son: *Abronia carterae*, *Asclepias subulata*, *Chaenactis lacera*, *Errazurizia megacarpa*, *Mesembryanthemum cristallinum*, *Proboscidea altheaeifolia*. Gómez-Pompa, A. y R. Dirzo. 1995. Reservas de la biosfera y otras áreas naturales protegidas de México. INE y CONABIO.

⁶ Comprende la franja limítrofe entre el matorral de dunas y el matorral halófilo, pero con mayor densidad vegetal y cobertura que ambos. Las especies características son: *Asclepias subulata*, *Encelia californica*, *Jatropha cinerea*, *Larrea tridentata*, *Rhus microphylla*, *Euphorbia misera*. Gómez-Pompa, A. y R. Dirzo. 1995. Reservas de la biosfera y otras áreas naturales protegidas de México. INE y CONABIO.

cuencas cerradas de las zonas áridas y semi áridas, cerca de lagunas costeras y área de marismas.

2. Selva baja caducifolia. Se desarrolla en condiciones climáticas con tipos cálidos, subhúmedos, semisecos o subsecos. El promedio de temperaturas anuales es a 20°C. Esta selva presenta corta altura de sus componentes arbóreos (normalmente de 4 a 10 m, y eventualmente de hasta 15 m o más).

3. Riego. Considera los diferentes sistemas de riego (método con el que se proporciona agua suplementaria a los cultivos durante el ciclo agrícola).

4. Pastizal inducido. Es aquel que surge cuando es eliminada la vegetación original. Este pastizal puede aparecer como consecuencia de desmonte de cualquier tipo de vegetación; también puede establecerse en áreas agrícolas abandonadas. Otras veces el pastizal inducido no forma parte de ninguna serie normal de sucesión de comunidades, pero se establece y perdura por efecto de un intenso disturbio, ejercido a través de tala, incendios, pastoreo.

5. Pastizal cultivado. Se refiere al pastizal que se ha introducido intencionalmente y que para su establecimiento y conservación se realizan algunas labores de cultivo y manejo.

6. Mezquital. Comunidad vegetal formada principalmente por arbustos que se agrupan sobre las dunas de arena de los desiertos áridos, fijándolas progresivamente. Se desarrolla frecuentemente en terrenos de suelos profundos y en aluviones cercanos a escorrentías.

7. Matorral sarcocaul. Tipo de vegetación caracterizada por la dominancia de arbustos de tallos carnosos, gruesos y frecuentemente retorcidos y algunos con corteza papirácea. Se desarrollan en terrenos rocosos y suelos someros de regiones costeras. Dado las condiciones ecológicas, las actividades pecuarias son limitadas y casi no hay actividad agrícola.

8. Matorral sarco-crasicaule. Es la comunidad vegetal con gran número de formas de vida o biotipos, entre los que destacan especies sarcocaul (tallos gruesos carnosos) y crasicaul (tallos suculentos jugosos). Se desarrolla sobre terrenos ondulados graníticos y coluviones.

9. Cuerpo de agua. Dentro de este estrato se incluyen las playas, lagunas y otras superficies sin ningún aprovechamiento agrario. Obtenidos de los conjuntos de datos topográficos escala 1: 250 000.

De acuerdo a la clasificación anterior, se integra la siguiente distribución superficial de los usos del suelo:

Tabla10. Usos de suelo en la cuenca de La Paz/

Código	Estrato	Superficie	
		Km ²	%
0	Zona urbana	38.88	3.18
1	Vegetación halófila	5.12	0.42
2	Selva baja caducifolia	311.29	25.48
3	Riego	57.89	4.74
4	Pastizal inducido	4.30	0.35
5	Pastizal cultivado	6.90	0.56
6	Mezquital	14.04	1.15
7	Matorral sarcocaula	490.77	40.16
8	Matorral sarco- crasicaule	289.62	23.70
9	Cuerpo de agua	3.10	0.25
TOTAL		1221.91	100

En la cuenca de estudio existe una predominancia de selva baja caducifolia en la parte oriental de la misma, precisamente donde se registran las cotas más elevadas de altura. También se presenta una alta cobertura de matorral, pues la parte occidental de la cuenca integra planicies y monte bajo.

A nivel regional, los principales cambios de uso del suelo y vegetación son de origen antrópico y se han dado por el crecimiento de las ciudades y la expansión de las actividades agropecuarias, principalmente en los extremos norte y sur de la cuenca de La Paz.

Los tipos de vegetación que mayor disminución sufrieron fueron el matorral, los pastizales, la agricultura de temporal y la agricultura de riego y humedad, mientras que los tipos de vegetación que tuvieron un mayor incremento fueron los asentamientos humanos, la agricultura de riego y humedad y la agricultura de temporal. Existen otros tipos de vegetación que presentan disminución e incrementos significativos, pero están asociados a la dinámica de los cuerpos de agua costeros (como es el caso de la vegetación halófila, otros tipos de

vegetación y áreas sin vegetación aparente) o a procesos de reforestación en las zonas boscosas.

Las especies de mezquite representadas en un 14% del total de vegetación de la cuenca de La Paz, son freatofíticas ya que extraen agua del subsuelo mediante su gran sistema radicular que se ha encontrado a 80 metros de profundidad; se consideran resistentes a la sequía y se presentan en áreas con precipitaciones menores de 250 a 500 milímetros o más según la región. La eficiencia en el uso del agua es variable y se encuentra entre los 205 a 19,700 kg de agua/kg de materia seca producido. Existen algunas especies tolerantes a las altas temperaturas y otras a las heladas, pero el máximo crecimiento se ha encontrado a 30°C; se desarrollan en diferentes niveles de salinidad y se ha encontrado un ligero decremento en el crecimiento a niveles de salinidad de 36,000 mg de cloruro de sodio/litro de solución, siendo *Prosopis articulata* una de las especies más tolerantes a la salinidad entre otras (Felker, 1979).

Esta y otras especies pueden ser utilizadas para la recuperación de tierras agrícolas con problemas de salinidad en suelo y agua del Estado de Baja California Sur, además de que se consideran útiles para la estabilización y mejoramiento del suelo al incrementar el contenido de materia orgánica, mejorar la capacidad de almacenamiento de agua y la tasa de infiltración y la cantidad de nitrógeno en el suelo.

2.2.5.3. Tenencia de la tierra.

En la zona de estudio existe un importante número de familias de *rancheros paceños*, oriundos de la ciudad de La Paz, que desde tiempos ancestrales han venido luchando por la regularización de sus tierras.

La dinámica de crecimiento del centro de población ha originado la formación de zonas irregulares, que consisten mayoritariamente en la falta de documentos legales que acrediten la propiedad de vivienda de los ciudadanos, que en la mayoría de las ocasiones adquieren predios ejidales que aun no cuentan con dominio pleno y por ende, las lotificaciones que se realizan así como la compra venta de las fracciones de una parcela se consideran irregulares, siendo que al no estar considerados en algún registro de propiedad son inexistentes administrativamente, por lo que principalmente carecen de servicios urbanos básicos como agua, drenaje, servicio de recolección de basura entre otros, ocasionando así, desbalances en el gasto publico municipal y estatal, sin embargo esta no es la peor cara, ya que los habitantes de estos asentamientos viven en condiciones no dignas y con la cantidad de problemas que esto conlleva.

En estos asentamientos la vivienda se ha edificado a partir de un proceso de autoconstrucción y debido a esto se observa la utilización de materiales peligrosos como lo es el cartón o la madera principalmente en los asentamientos irregulares que se presentan en la zona de estudio, dándose un proceso de mejoramiento constante por parte de sus habitantes en la medida de sus posibilidades.

El agua es abastecida por pipas, no existe drenaje y los caminos son de terracería. La mayoría de estas construcciones se encuentran en zonas de riesgo, debido a que se ubican en las faldas de los arroyos, que en épocas de lluvia genera el desbordamiento de los cauces, provocando pérdidas materiales y humanas.

Se tiene conocimiento que desde que se ejecutó el Programa de Actualización de Catastro Rural⁷, se regularizó la tenencia de la tierra de diversas poblaciones, aunque no en su totalidad.

⁷ Programa Vigente a 2006, de la Secretaria de la Reforma Agraria, a través del Registro Agrario Nacional; Dirección General de Catastro Rural, www.ran.gob.mx

Para 1997 en el municipio de la Paz se identifica una superficie de origen ejidal, comunal o de propiedad federal por regularizar de 16.8 hectáreas y un total de 178 lotes, para el 2003 se regularizaron un total de 2.49 hectáreas equivalente a 49 lotes regularizados que corresponde al 16.18% de las 15.4 hectáreas regularizados en el periodo 1998 al 2003, regularizándose un 91.66% de la superficie de origen ejidal, comunal o de propiedad federal con respecto a 1997.

Tabla 11. Lotes y superficies de origen ejidal, comunal o de propiedad federal regularizados, por regularizar y superficie promedio por lote en el municipio de la paz, 1998-2003

Municipio	Número de lotes por regularizar a diciembre de 1997		Lotes regularizados											
			1998		1999		2000		2001		2002		2003	
	Lotes	Superficie (Has)	Lotes	Superficie (Has)	Lotes	Superficie (Has)	Lotes	Superficie (Has)	Lotes	Superficie (Has)	Lotes	Superficie (Has)	Lotes	Superficie (Has)
La Paz	176	16.8	21	2.26	20	1.8	39	3.4	14	1.34	11	0.74	49	2.49

Fuente: Registro Agrario Nacional (RAN), Subdelegación Técnica.

De acuerdo con el Registro Agrario Nacional (RAN), en el municipio de La Paz se expidieron certificados para ordenar y regularizar la propiedad rural y urbana: 668 certificados parcelarios para 1998, 365 certificados en el 2002 y 1 para el 2003; así mismo se expidieron 188 certificados de uso común en 1998; 3 en el 2002 y 2 en 2003, por lo que se considera que se realiza un trabajo constante y acertado en la regularización de la propiedad. Los beneficiados por esta expedición de documentos han sido para 1998, una población estimada de 583 habitantes, para el 2000, 1150 habitantes y 262 habitantes para el 2002.

2.2.6. Características socioeconómicas

Con la consideración de que la población de una cuenca es la beneficiaria de las actuaciones que en ella se producen, resulta de gran relevancia conocer su medio de vida, infraestructura, actividades que en ella se realizan y todas las características socioeconómicas restantes de la zona.

2.2.6.1. Datos geográficos

La cuenca de La Paz pertenece al municipio de La Paz, que tiene una extensión territorial total de 20,274.98 kilómetros cuadrados que representan el 27.51% de la extensión total de Baja California Sur; es además el segundo municipio más extenso del estado, tras el de Mulegé y el cuarto más extenso de México, tras los de Ensenada, Baja California, y Ocampo, Coahuila.

Las principales localidades del municipio de La Paz que se encuentran dentro de la cuenca de estudio son:

Tabla 12. Núcleos poblacionales importantes en el municipio de La Paz.

Localidad	Población (habitantes)	Altitud (msnm)	Distancia a la capital del municipio (km)
La Paz	251,871	27	0
Chametla	1,731	5	10
El Centenario	3,626	15	15

Fuente: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).

2.2.6.2. Demografía y análisis de la población

El Estado de Baja California Sur registró en el Censo General de Población y Vivienda del año 2000, una población de 424, 041 habitantes, lo que representa el 0.4% del total nacional. Mientras que en el Municipio de La Paz se contabilizó, en el mismo año, una población de 196, 907 habitantes.

En lo referente a la distribución espacial de la población, existe una marcada concentración de la misma en el municipio de La Paz, el cual, para el año 2000 albergaba el 46.4 % del total de los habitantes del estado. Sin embargo, ante el explosivo crecimiento demográfico que ha venido experimentando el municipio de Los Cabos en las últimas décadas y el ritmo decreciente en la dinámica poblacional del resto de los municipios, la tendencia histórica ha venido cambiando ligeramente.

Así se observa, que para 1980 el municipio de La Paz concentraba el 51.7 %, seguido de Comondú con el 24.3 % y Los Cabos contaba, para esas fechas, con tan solo el 8.9% del total de la población de la entidad. Para el año 2000 La Paz reduce su participación porcentual al 46.4 %, Comondú lo hace notoriamente al 15.1 % y Los Cabos incrementa su participación al 24.8 %, colocándose ya como el segundo municipio más poblado después de La Paz (ver tabla 13).

Tabla 13. Distribución porcentual de la población en Baja California Sur.

Municipio	1960	1970	1980	1990	1995	2000
Comondú	17.2	22.9	24.3	20.8	17.6	15.1
Mulegé	18.1	15.2	12.5	12.1	12.2	10.9
La Paz	47.6	47.7	51.7	50.7	48.6	46.4
Los Cabos	14.8	11.9	8.9	13.8	18.9	24.8
Loreto	2.4	2.2	2.6	2.5	2.7	2.8

Fuente: VIII, IX, X, XI y XII Censo General de Población y Vivienda y Conteo 95 de Población y Vivienda. INEGI.

El fenómeno de la distribución de la población adquiere una mayor relevancia si lo observamos en términos de densidad de población. El estado de Baja California Sur es para el año 2000, la entidad federativa con menor densidad poblacional del país, con tan sólo 6 habitantes por kilómetro cuadrado. Sin embargo, al observar las densidades de población en cada uno de los municipios que conforman el estado, se pone de manifiesto la desigualdad en esta distribución y por consiguiente el mal aprovechamiento del espacio que se tiene en Baja California Sur. Municipios como Mulegé, Loreto y Comondú presentan una densidad de población de 1.4, 2.4 y 5.3 habitantes por kilómetro cuadrado respectivamente. Mientras que los municipios de La Paz y Los Cabos tienen una densidad de 9.7 y 29.8 habitantes por kilómetro cuadrado respectivamente.

La tasa de crecimiento promedio en la zona de estudio, de acuerdo a INEGI ha sido de 1990 al 2000 del 1.9%, y del 2000 al 2005 del 2%, estas cifras son demasiado conservadoras, si consideramos la oferta de bienes y servicios públicos, la tasa de crecimiento particularmente en vivienda y tomas de agua, las que arrojan una tasa de crecimiento del 3%.

Tabla 14. Población total (proyecciones con base en 1990), 1990, 2000-2005.

Municipio	Total						
	1990	2000	2001	2002	2003	2004	2005
La Paz	160970	196907	202469	206619	210855	215177	219588
B. C. S.	317764	424041	441293	454303	467696	481484	495678

Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

Tabla 15. Población urbana (proyecciones con base en 1990), 1990, 2000-2005.

Municipio	Urbana						
	1990	2000	2001	2002	2003	2004	2005
La Paz	141025	170366	174876	178236	181661	185152	188709
B. C. S.	248665	344735	360657	372719	385183	398065	411377

Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

Tabla 16. Población rural (proyecciones con base en 1990), 1990, 2000-2005.

Municipio	Rural						
	1990	2000	2001	2002	2003	2004	2005
La Paz	19945	26541	27610	28416	29245	30099	30978
B. C. S.	69099	79306	80831	81960	83105	84266	85443

Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

En la ciudad de La Paz y las subdelegaciones aledañas de San Juan de la Costa, Alfredo V. Bonfil, El Centenario, Chametla, El Calandrio, y San Pedro residen 176,113 habitantes, de los cuales 87,904 son mujeres y el resto hombres, por lo que existe un equilibrio entre la distribución de la población, aunque sí de densidad de población se refiere, el cambio ha sido mínimo en los últimos 10 años.

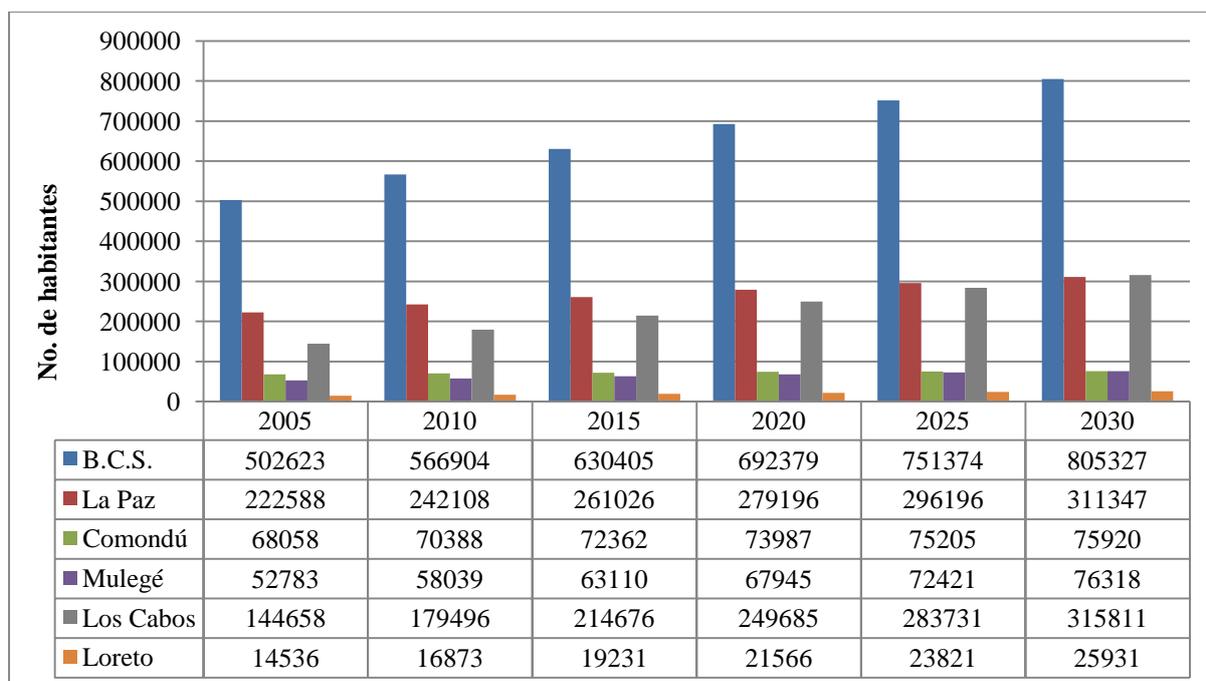
Tabla 17. Densidad y dinámica de crecimiento.

Municipio	Densidad de población					
	2000	2001	2002	2003	2004	2005
La Paz	10	10.2	10.4	10.6	10.8	11
B. C. S.	5.9	6.1	6.3	6.5	6.6	6.8

Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

De acuerdo a las proyecciones de crecimiento estimadas por el Consejo Nacional de Población (CONAPO), las tendencias de crecimiento para el Estado de Baja California Sur y de sus municipios es la siguiente:

Tabla 18. Proyecciones de crecimiento de población 2000-2030.



Fuente: Comisión Nacional de Población (CONAPO).

Relativo al tema de migración, el estado de Baja California Sur es una entidad que se caracteriza por tener una de las tasas más elevadas de inmigración, con población proveniente de otros estados de la República Mexicana. Se observa que el 65.7% de la población residente es nativa de la entidad, el 32.5% nació en otro estado y el 0.7% nació fuera del país.

En cuanto al municipio de La Paz en el año 2000 el 28.7% de la población nació en otros estados del país, habiendo disminuido 1.9% con respecto a 1990. Los motivos más importantes por los que las personas deciden cambiar su lugar de residencia en el municipio de La Paz, se encuentra la búsqueda de empleo, registrando el 23.2%; por reunión con la

familia el 21%; cambio de lugar de trabajo el 9.8%; matrimonio o unión el 2.9%; estudios el 2.7%; salud, violencia o inseguridad el 1.5%; y, otras causas el 12.8%.

El principal país que es destino de los emigrantes sudcalifornianos es Estados Unidos de América con el 90.9%, mientras que la proporción nacional es de 96.1%. El porcentaje de emigrantes del estado cuyo destino es el resto del mundo es de 5.1%, contra el 2.9% a nivel nacional. El estado de Baja California Sur está ubicado en la posición número 32 en la recepción de remesas; lo que representó en el año 2006, una importante entrada de dinero en esta entidad de casi \$25 millones de dólares; ingresos que son utilizados por las familias del estado en diversos rubros como son: educación, salud y vivienda.

2.2.6.3. El mercado de trabajo

Baja California Sur es uno de los estados con más baja participación en la generación del Producto Interno Bruto (PIB) nacional. Si bien este indicador ha registrado un crecimiento global importante en las últimas cuatro décadas, su tendencia es decreciente, fenómeno que se acentúa en las décadas de los años mil novecientos ochenta y noventa.

La estructura económica de la entidad durante el periodo 1970-1999 sufrió importantes cambios. En la misma se observó una marcada orientación productiva hacia el sector terciario, a consecuencia de la existencia de recursos turísticos de singular valor y, por otra, de la acción de factores e intereses foráneos muy poderosos, lo que se refleja en la participación de la actividad terciaria en el PIB estatal (en 1970 aportó el 63.6% del producto estatal y en 1999 esta magnitud representó el 76.3%).

Este sector ha sido y es en la actualidad el de mayor dinamismo, tanto en valores absolutos como relativos. Se destacan en su estructura los servicios financieros, seguros, actividades inmobiliarias y de alquiler. Esto le confiere un sello característico a la economía sudcaliforniana, cuyos efectos a mediano y largo plazos pueden resultar en extremo

desfavorables de no promoverse, de manera permanente acciones de planeamiento y control por las instituciones de gobierno.

Paralelamente se observa una fuerte concentración de la generación del PIB estatal en los municipios de La Paz y Los Cabos que aportan el 41.2% y el 33.3% del mismo, respectivamente. Tomados en conjunto, generan el 75% del producto de la entidad, lo que muestra el profundo desequilibrio económico y social que caracteriza este espacio económico. En estos municipios el sector terciario es el de mayor peso, en ambos casos genera más del 80% del PIB de sus economías (INEGI, 2010).

La población económicamente activa (PEA) en el estado de Baja California Sur es del 54.9%. En relación con 1990 se observa un incremento de 7.6%. A nivel nacional representa el 49.3%, valor inferior en 5.6% con respecto al registrado en la entidad. La población económicamente inactiva a nivel estatal está conformada por 138 565 personas: el 42% se dedican a quehaceres del hogar, 29% son estudiantes y 29% se ubican en otro tipo de inactividad (incluye jubilados y pensionados, incapacitados permanentemente para trabajar y otras personas económicamente inactivas).

El municipio de La Paz tiene una tasa de participación económica en el estado de 54%, la tercera después de Los Cabos (62.0%) y Loreto (54.2%). En todos los municipios el porcentaje de la PEA es superior al registrado en el país. Con respecto a 1990, La Paz tuvo un incremento de 6.8 puntos porcentuales. Municipalmente el porcentaje de población ocupada en el sector primario en el 2000 es del 8%, contra el 10.4% registrado en 1990.

En la entidad el 16% de la población recibe más de 5 salarios mínimos, porcentaje superior en 4.1% al registrado a nivel nacional: en el rango de 2 y hasta 5 salarios mínimos la cifra estatal es de 42.8%, mientras que el nacional es del 31.7%. La población ocupada que percibe más de 2 salarios mínimos en el municipio de La Paz es del 59.4%, mientras que en Los Cabos es del 70.4%

Durante 1998, el principal destino de los turistas nacionales fue la ciudad de La Paz, donde se concentró el 63% de las llegadas, seguida por Los Cabos con 20%, Mulegé con 7%, Comondú y Loreto con 5% cada uno. En cuanto al turismo extranjero es indudablemente que el municipio de Los Cabos, es el que representa la principal atracción para el turista extranjero, concentrando 81% de su afluencia hotelera. En el segundo lugar se sitúa el municipio de La Paz, con sólo 8%, seguido por Loreto con %, Mulegé y Comondú concentran solamente 3 y 2%, respectivamente (INEGI, 2010).

La población económicamente activa en el municipio de La Paz presenta la siguiente distribución:

Tabla 19. Población económicamente activa por rama de actividad.

Sector	Porcentaje
Primario (Agricultura, ganadería y pesca)	7.99
Secundario (Minería, petróleo, industria manufacturera, construcción)	19.60
Terciario (Turismo, comercio y servicios)	69.36
Otros	3.05

Fuente: XII Censo General de Población y Vivienda 2000, INEGI.

2.2.6.4. Análisis de cada uno de los sectores económicos

Sector primario

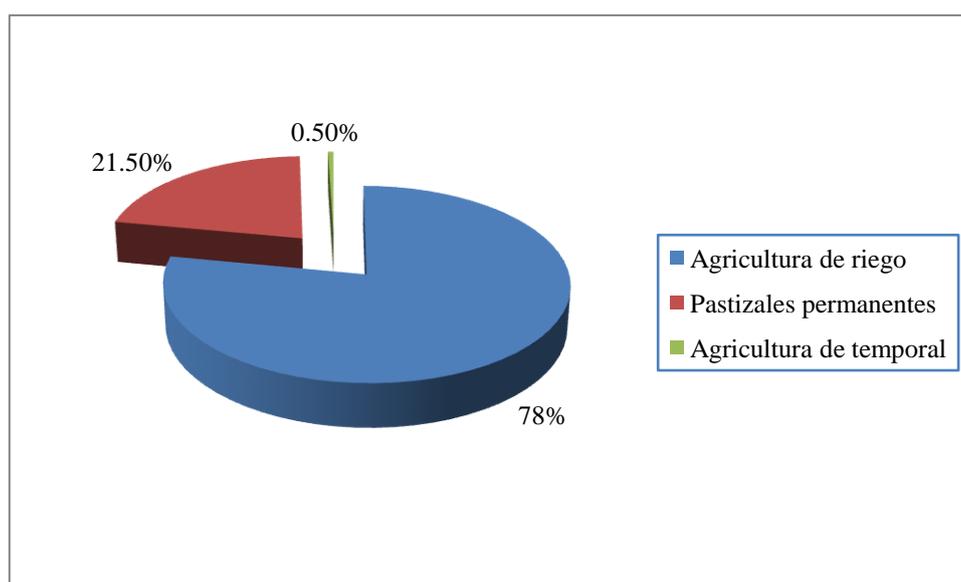
El municipio de La Paz tiene una extensión territorial de 202,750 hectáreas, de las cuales 13 por ciento se utilizan alternadamente en actividades agrícolas (INEGI). De estas, 78

por ciento son irrigadas, 21.5 por ciento son pastizales y apenas 0.5 por ciento es utilizada para realizar agricultura de temporal.

Para el ciclo 2004-2005, la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) reportó una extensión de 3,995 hectáreas sembradas. De acuerdo al valor comercial que generan, las hortalizas son las que tienen mayor importancia y, entre la producción ganadera, es el bovino el más importante (95%) seguido de lejos por el caprino (5%). Las ventajas comparativas del Estado en materia agrícola se basan principalmente en la ausencia de heladas en época de invierno y que se encuentra libre de plagas como la mosca de la fruta, el carbón parcial y la abeja africana.

Las tierras que actualmente se destinan a la agricultura de temporal suman 62 hectáreas. A pesar de ser una superficie tan pequeña la que tiene esta ocupación, el número de hectáreas aptas para ello, según la información brindada por agrónomos del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) es mucho mayor, llegando a sumar 21,271 hectáreas (10% del municipio). Éstas se ubican al sur de la ciudad de La Paz y hacia Los Planes, principalmente en las zonas con pluviometría de entre 200 y 400 milímetros por año, suelos de tipo regosol y de baja pedregosidad.

Tabla 20. Distribución de la superficie agrícola en el municipio de La Paz.



Fuente: INEGI, Carta de vegetación y uso actual del suelo. Serie III, Escala 1:250 000

La agricultura de riego se visualiza en 20,575 hectáreas según la cartografía de INEGI para el año 2002 y se concentra en terrenos aledaños a la ciudad de La Paz, Los Planes y en la planicie de El Carrizal. La Comisión Nacional del Agua ha decretado una veda a la concesión de nuevos pozos de agua con fines agrícolas por lo que la superficie irrigada se encuentra restringida. A cambio de esto, CONAGUA ha promovido el desvío de aguas grises para irrigación que provienen principalmente de las plantas de tratamiento de la ciudad de La Paz y de Los Planes.

La plantilla de cultivos denota que la especialización de la agricultura irrigada con agua del acuífero de La Paz es en torno a la producción de verduras y hortalizas. Es interesante notar que los cultivos con menor valor de producción son el maíz y el frijol, mientras que los de mayor valor son el tomate rojo y el chile verde.

En el Distrito de Desarrollo Rural de La Paz, la producción promedio anual en los últimos cinco años ha sido de 127,894 toneladas de productos agrícolas, principalmente alimentos de consumo humano. El promedio del valor total de la producción generada del 2003 al 2008 fue de aproximadamente \$639 millones de pesos por año. Por cada hectárea cultivada y regada, se genera un valor de producción de \$219,000 pesos/hectárea por año. Para estimar el retorno real de la agricultura del valle agrícola de La Paz, se requiere información detallada de costos de producción por cultivo, además de costos y volúmenes de entrega de agua también por cultivo, sin embargo esta información no está disponible para su consulta.

La sobreexplotación de los acuíferos ha propiciado una reducción de las áreas destinadas a la agricultura a nivel estatal. Los principales cultivos obtenidos dada su rentabilidad, son el trigo, algodón y garbanzo, que en los últimos años han ocupado alrededor del 70 por ciento de la superficie total sembrada.

La explotación ganadera es de tipo extensivo en su mayoría y de libre pastoreo. Su producción es limitada por los índices de agostaderos que se observan en casi la totalidad de las superficies destinadas a esta actividad y que registran desde 80 hectáreas por unidad animal. Mayoritariamente se comercializa tanto la carne como la leche. Uno de los problemas elementales que atraviesa este subsector es la falta de fuentes de abastecimiento de agua para abreviar el ganado ya que se considera muy escasa la precipitación pluvial que se presenta en todo el territorio estatal.

La actividad pesquera en la región es de suma relevancia, y es a partir de los años cuarentas donde adquiere mayor importancia en la economía estatal, debido al apoyo del Gobierno Federal y a la participación de pescadores organizados, iniciándose de este modo la operación de sociedades cooperativas de producción pesquera, explotándose especies de alto valor comercial como el abulón, la langosta y el atún entre otros; situación que dio lugar a un éxodo hacia la zona Pacífico norte del estado donde se crearon las primeras comunidades pesqueras importantes. La actividad continúa siendo prioritaria para el desarrollo integral de Baja California Sur, su fuente de alimentos, empleo y divisas, así como por las ventajas que ofrecen las condiciones de la situación geográfica y el potencial pesquero disponible.

En el subsector acuacultura se cuenta con 220 mil hectáreas de aguas protegidas, lo que le permite guardar un lugar privilegiado por sus condiciones ecológicas, no sólo dentro del contexto nacional sino mundial. De tal forma, en los últimos años, se ha venido canalizando una fuerte cantidad de inversiones hacia el desarrollo de la acuacultura y se han llevado a cabo cultivos de ostión japonés, de almeja catarina, de camarón, y experimentalmente de callo de hacha.

Sector secundario

Dentro del Programa Estatal de Minería de B.C.S. (Abril 2004) para el municipio de La Paz se incluyen cuatro regiones para el desarrollo regional del sector minero: 1) Región Pacífico Central, 2) Región La Paz, 3) Región Pacífico Sur, y 4) Región Golfo Sur.

En la región Pacífico Central existen potenciales mineros de interés comunitario, sin embargo se deberán fomentar estudios para ver la factibilidad de los mismos. Dentro de la región de La Paz en la micro región Los Dolores existe una asignación minera “San Hilario Santa Rita” de fosfatos con una superficie de 161,900 hectáreas. En la comunidad de San Evaristo existe una zona potencial para la producción de sal marina por evaporación, que está siendo explotada por un grupo social de trabajo de la comunidad.

En la micro región de La Paz conurbada, la empresa Roca Fosfórica Mexicana (ROFOMEX) tiene concesiones que amparan la explotación y exploración de 26,000 hectáreas aproximadamente. Por su parte, en la micro región Sureste de La Paz el grupo ejidal minero San Antonio junto con la empresa canadiense Echo Bay México y la empresa Minera Caopas, S.A de C.V tienen una superficie para explorar de 1, 336 hectáreas, además la empresa Texcalama una superficie de 1, 039 hectáreas. Los mineros ejidales del Triunfo se han dedicado a explotar oro y plata en los siguientes sitios: El Triunfo Ampliación con una superficie de 3,140 hectáreas y Reducción El Triunfo Fracción I con una superficie de 1,975 hectáreas. Echo Bay México contaba en 1995 con una superficie concesionada de aproximadamente 25,000 hectáreas, y por su parte la Minera Tepmin, S.A de C.V contaba con una superficie mayor a 5,000 hectáreas.

En Baja California Sur el desarrollo industrial se fundamenta en la existencia de recursos naturales y materias primas disponibles en volúmenes industrializables que actualmente son importados a otras entidades.

Sector terciario

La actividad comercial es muy importante para Baja California Sur no sólo por los problemas que plantea su aislamiento al ser parte de una península y presentar dificultades de transporte y mercado local muy reducido, sino también porque el desarrollo de esta actividad debe continuar siendo un factor de apoyo indispensable para el funcionamiento de otras actividades tales como el turismo, pesca, industria y agropecuaria.

El comercio de Baja California Sur ha incrementado su volumen de compras nacionales, limitando importaciones a artículos indispensables y que no se fabrican en México; este cambio se está presentando de una manera gradual.

En cuanto al tema turístico se refiere, el Municipio de La Paz cuenta con recursos naturales y culturales para convertirse en un destino importante en el mercado turístico nacional e internacional. Este municipio posee enormes bellezas como el mar, sus playas, el clima y una enorme riqueza de fauna marina que son atractivos para los turistas que buscan el contacto con la naturaleza; es por esto que cada día adquiere mayor importancia el turismo alternativo, en la Ciudad de La Paz, así como en algunas localidades del municipio. Estas condiciones naturales son propicias para que La Paz pueda convertirse en un centro ideal para observar la flora y fauna, práctica de kayak, wind surf, ciclismo de montaña, destacando también su atractivo cultural que presentan las misiones y su historia. La Paz ha conservado su ambiente prístino, lo que convierte a este sitio en un lugar ideal para las actividades eco turísticas.

En función de las características del territorio se han identificado cinco zonas turísticas: al norte la península de Balandra, que abarca desde Punta Prieta hasta la Punta del Rosario; Sierra del Novillo que comprende desde Punta del Rosario hasta La Ventana; Los Planes que se inscriben desde La Ventana hasta límite sur de Bahía de Muertos; San Juan de La Costa, que se delimita con la zona montañosa del Tule, Mesa Portero de los Venados y Cerro Blanco y el Valle de la Paz que se inscribe en las zonas montañosas de la Sierra del Novillo y la que forma San Juan de la Costa.

El desarrollo de esta actividad no se identifica con objetividad en todas las zonas, sin embargo se observa en las cifras disponibles sobre derrama económica que ha generado, particularmente en el valle de La Paz, que dan idea de la importancia que ha adquirido, últimamente esta actividad en su ciudad capital de La Paz..

2.3 HIDROLOGÍA FORESTAL

2.3.1. Reseña Hidrográfica

El Estado de Baja California Sur, de acuerdo a la clasificación nacional (INEGI, 1995) pertenece a las Regiones Hidrológicas RH2 y RH3 en la vertiente del Océano Pacífico y a RH5 y RH6 en la vertiente del Mar de Cortés, nombradas de norte a sur.

La región hidrológica RH6 se subdivide en cinco subcuencas o unidades hidrológicas, definidas por los arroyos El Cajoncito, La Huerta, La Ardilla, La Palma y El Novillo. La cuenca de La Paz pertenece de acuerdo a esta clasificación hidrológica nacional a la porción sur de la región hidrológica 6.



Figura 15. Regiones hidrológicas de la Península de Baja California. Fuente: Comisión Nacional del Agua.

La región hidrológica de El Cajoncito, situada en el extremo noreste de la cuenca de La Paz, es dominada por el arroyo principal del mismo nombre, El Cajoncito, que drena hacia y a través de la ciudad de La Paz y que se origina en la Sierra de Las Cruces. Sobre este

arroyo se ubica la Presa La Buena Mujer (Figura 16), que fue inaugurada en 1985 y regula en buena medida gran parte de la subcuenca. Esta presa se cimentó sobre material fallado asociado a la Falla de La Paz. El arroyo El Cajoncito también funciona como colector de escorrentía para toda su región de influencia y su importancia radica en que la ciudad de La Paz está construida sobre la parte activa de su abanico aluvial por lo que puede llegar a causar desastres en eventos ciclónicos



Foto de la Presa La Buena Mujer.

Recorriendo territorio hacia el sur de la cuenca, se ubica la unidad hidrológica de La Huerta, siguiendo el arroyo principal denominado La Huerta, que recorre 19.5 km. A escasos 5.6 km de su origen recibe las aguas de la cañada Sta. Clara y a 17.7 km se une a Chametla; atraviesa un fraccionamiento y zonas agrícolas; a 23.6 km de su origen recibe aguas del Calandrio y corre paralelo al arroyo El Cajoncito.

Posteriormente se localiza la unidad hidrológica de La Palma, ubicada al sur de la subcuenca La Huerta. Esta unidad hidrológica está regida por el arroyo principal llamado La Palma, que funciona como el colector principal que conduce agua hacia la Ensenada de La Paz. Es importante considerar que gran parte de la escorrentía no alcanza a llegar al colector principal debido a las condiciones de alta permeabilidad y baja pendiente del terreno. El arroyo La Palma es de orden uno y se caracteriza por presentar un largo cauce, desciende de

las sierras localizadas al este de la cuenca, para después confluir en ángulo recto con las corrientes principales.

En la zona oeste de la cuenca de La Paz, se localizan las dos unidades hidrológicas restantes, que son marcadas por el curso medio del arroyo El Novillo, que en buena medida atraviesa casi la mayor parte de la cuenca de La Paz, desde su cabecera en la Sierra El Novillo, descendiendo y trasladándose por la zona oeste de planicie de la cuenca de La Paz, hasta desembocar en la Ensenada de La Paz. En el afluente medio de El Novillo se puede localizar vegetación como el mezquital.



Figura 16. División en subcuencas o unidades hidrológicas para la cuenca de La Paz

Por la topografía de la cuenca La Paz, los escurrimientos presentan dirección sur – norte, confluyendo la mayor parte de ellos en la zona de planicie, situada kilómetros antes de su desembocadura en la ensenada de La Paz, en cuya costa se ubica la parte sur de la zona urbana de La Paz, y las localidades de El centenario y Chametla.

2.3.2. Características morfológicas

A partir de la morfología de la cuenca, se obtienen los parámetros de forma, relieve y los relativos a la red hidrográfica.

2.3.2.1. Parámetros de forma.

- **Coefficiente de Gravelius**

Este coeficiente determina la influencia del contorno de la cuenca (su forma y su superficie) en los escurrimientos y marcha de los hidrogramas resultantes de una precipitación dada. Este está definido como la relación entre el perímetro P y el perímetro de un círculo que contenga la misma área A de la cuenca hidrográfica.

$$Cg = \frac{P}{2(\pi \cdot A)^{1/2}} \approx 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Donde,

Cg Coeficiente de Gravelius

P Perímetro de la cuenca (168 Km)

A Superficie de la cuenca (1222 Km²)

El coeficiente de Gravelius será mayor o igual a la unidad, de modo que cuanto más cercano a ella se encuentre, más se aproximará su forma a la del círculo, en cuyo caso la cuenca tendrá mayores posibilidades de producir crecientes con mayores picos (caudales). De otra forma cuando “Kc” se aleja más del valor unidad significa un mayor alargamiento en la forma de la cuenca.

El resultado que se obtiene es de $C_g=1.35$, que corresponde a una cuenca no tan alargada, con forma similar a la circular, de acuerdo a la clasificación de cuencas en función del valor del coeficiente de Gravelius.

2.3.2.2. Parámetros de relieve

- **Curva hipsométrica**

Mediante la curva hipsométrica se define el relieve de la cuenca mediante una gráfica de doble entrada cota-superficie acumulada, acumulando el área de cotas máximas a más bajas.

La curva hipsométrica se construye posicionando en el eje de las abscisas, longitudes proporcionales a las superficies proyectadas en la cuenca, en km^2 o en porcentaje, comprendidas entre curvas de nivel consecutivas hasta alcanzar la superficie total, y finalmente llevando al eje de las ordenadas la cota de las curvas de nivel consideradas para la zona de estudio.

Tabla 21. Relación entre altitudes y superficies para la cuenca de La Paz.

Cota (m)	Superficie por encima de la cota correspondiente (km ²)	Superficie relativa	%Acumulado	%Relativo
1250	0.00	--	0.00	0.00
1200	0.03	0.03	0.002	0.002
1100	0.24	0.21	0.02	0.02
1000	1.86	1.62	0.15	0.13
900	8.86	7.00	0.73	0.57
800	23.32	14.46	1.91	1.19
700	51.27	27.95	4.20	2.29
600	119.27	68.00	9.78	5.57
500	201.39	82.12	16.51	6.73
400	264.16	62.77	21.65	5.15
300	357.94	93.78	29.34	7.69
200	542.07	184.13	44.43	15.09
100	924.01	381.94	75.74	31.31
0	1220.00	295.99	100.00	24.26

Tal cual se aprecia en la figura 17 la cuenca de La Paz se encuentra en una etapa de madurez.

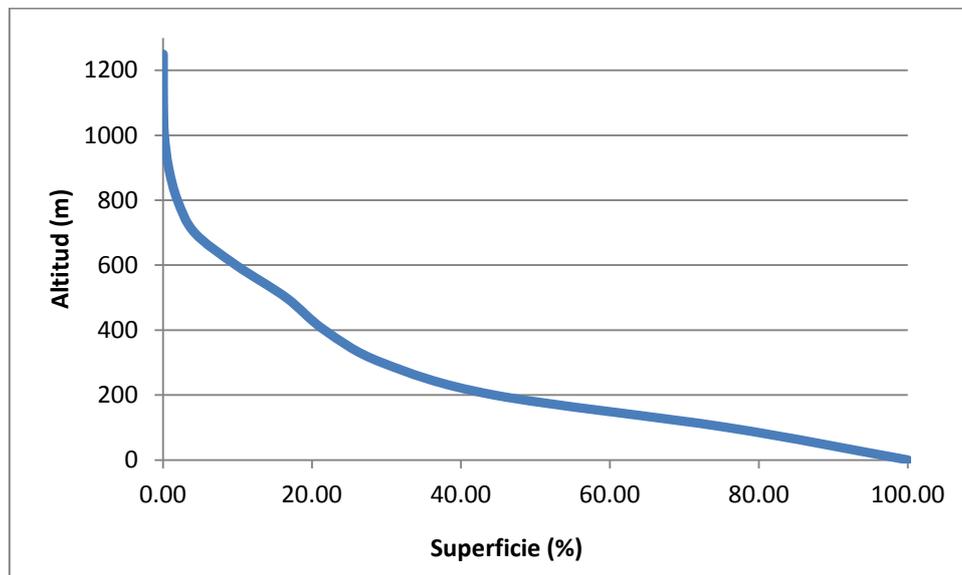


Figura 17. Curva hipsométrica de la cuenca de La Paz.

- **Altura media**

Una consecuencia inmediata de la curva hipsométrica es el cálculo de la altura media:

$$h = \frac{V}{A}$$

Donde,

h Altura media (m)

A Superficie de la unidad hidrológica (km²)

V Volumen (km³) de la unidad hidrológica, obtenido midiendo el área comprendida entre la curva hipsométrica y los ejes de coordenadas, aplicando la escala correspondiente.

Otro método alternativo es calcular el volumen de la cuenca a partir del Modelo de Elevación Digital (MED) y con la herramienta *3D Analyst* del software ArcMap 9.3.

La altura media de la cuenca de La Paz es de 250 m.

- **Altitud media**

Se obtiene sumando la altura media y la cota más baja a la que pertenece la cuenca, es decir:

$$H = h + \text{cota mínima}$$

Donde,

H altitud Media (m)

h altura media (m)

La altitud media de la cuenca en estudio es $250 + 50 = 300$ m

- **Pendiente media**

Se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$S = 100 \cdot \frac{\sum li \cdot E}{A}$$

Donde,

- S Pendiente media (tanto por ciento)
- $\sum li$ Suma de las longitudes de las curvas de nivel (km)
- E Equidistancia de las curvas de nivel (km)
- A Superficie de la unidad hidrológica (km²)

Siendo la equidistancia entre las curvas de nivel consideradas 20 m. y la suma de sus longitudes 6501 km, la pendiente media para la cuenca de La Paz es de: 10.64 %.

2.3.2.3. Parámetros relativos a la red hidrográfica

- **Densidad de drenaje**

Se define mediante la expresión propuesta por Horton:

$$D = \frac{\sum li}{A}$$

Donde,

- D Densidad de drenaje (km⁻¹)
- $\sum li$ Suma de las longitudes de los cursos que integran la cuenca (km) (2372)
- A Superficie de la unidad hidrológica (km²) (1222)

La densidad de drenaje en la cuenca de La Paz es de 1.94 km⁻¹

▪ **Pendiente media del cauce principal**

Se calcula mediante la expresión:

$$j = \frac{H_{\text{máx}} - H_{\text{min}}}{1000L} \cdot 100$$

Donde,

j Pendiente media del cauce (%)

H_{máx} Altitud máxima del cauce (m)

H_{min} Altitud mínima del cauce (m)

L Longitud del cauce (m)

Los cálculos serán realizados en la parte final de este apartado para cada unidad hidrológica de la cuenca.

2.3.3. Cálculo de caudales

2.3.3.1. Aplicación de la fórmula empírica de García Nájera

García Nájera ha propuesto las siguientes expresiones que dan, no la avenida máxima posible, sino el valor intermedio entre las pequeñas y las extraordinarias, que es la que debe tomarse en consideración para calcular las obras de corrección. Estas fórmulas son las siguientes:

$$S < 0,4 \text{ km}^2, \quad Q_{\text{máx}} = \frac{a \cdot p(42 + 0,525 \cdot S) \cdot S}{(1+S)[1+0,025 \cdot S][0,5+\sqrt{S}]}$$

$$0,4 < S < 2,5 \text{ km}^2 \quad Q_{\text{máx}} = a \cdot p(12,21S + 5,74)$$

$$S > 2,5 \text{ km}^2 \quad Q_{\text{máx}} = \frac{a \cdot p(42 + 0,525 \cdot S) \cdot S^2}{(1+S)[1+0,025 \cdot S][0,5+\sqrt{S}]}$$

En las que,

$Q_{\text{máx}}$ Caudal máximo estimado (m^3/s)

S Superficie de la cuenca (km^2)

a, p Coeficientes para tener en cuenta el estado forestal y lo accidentado de la cuenca.

Designado por F_c la superficie en km^2 de vegetación en buen estado (que en este estudio es definida por el área de vegetación cuya fracción de cabida cubierta es mayor a 70%, obtenida del mapa de cubierta arbórea de la cuenca, y se tiene:

$$a = 1 - \frac{3F_c}{4S}$$

y en cuanto a “ p ” tiene los siguientes valores:

Cuencas poco accidentadas: $p=0.75$

Cuencas medianamente accidentadas: $p=1.00$

Cuencas muy accidentadas: $p=1.25$

Según si menos de un tercio, más de un tercio o más de dos tercios de la cuenca tengan pendientes superiores al 30%.

Como la superficie de la Cuenca en estudio es mayor a $2,5 \text{ km}^2$, se aplicó la tercera fórmula. Posteriormente se ha dividido la zona de estudio en 5 regiones hidrológicas o subcuencas (I, II, III, IV y V). Los límites más significativos de cada unidad, siguiendo el sentido horario, se han descrito en el apartado de Reseña Hidrográfica.

Los resultados de la aplicación de esta expresión, para cada una de las unidades hidrológicas de la cuenca de La Paz se muestran a continuación:

Unidad Hidrológica	A (km ²)	Caudal Q (m ³ /s)
I (El Novillo)	597	490.82
II (El Cajoncito)	173	289.11
III (La Huerta)	116.35	247.99
IV (La Palma)	264.43	343.55
V (El Novillo II)	71.23	40.76

2.3.3.2. Aplicación del método de la dirección general de carreteras del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo (MOPU)

Los factores que intervienen en la siguiente expresión, son afectados para cada período de retorno seleccionado:

$$Q = \frac{C \cdot I \cdot A}{3.6} \cdot K$$

Donde,

- Q Caudal punta (m³/s)
- I Intensidad de precipitación (mm/h)
- A Superficie (km²)
- C Coeficiente de escorrentía
- K Coeficiente de uniformidad

Cálculo de la intensidad I

Para el cálculo de la intensidad, se determina a partir del mapa de isocotas que se adjunta a continuación para distintos períodos de retorno en el estado de Baja California Sur. Estos mapas de isocotas fueron desarrollados por la Dirección General de Servicios Técnicos de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).

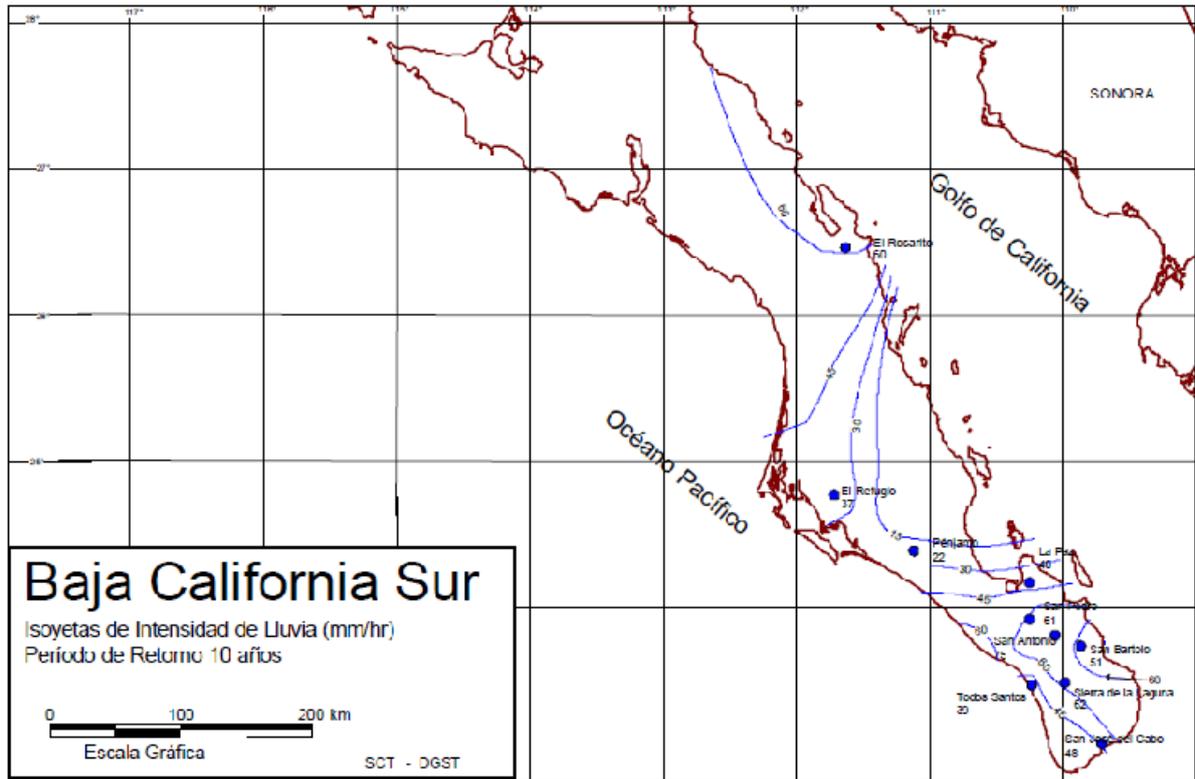


Figura 18. Mapa de Isoyetas de intensidad de lluvia en Baja California Sur. Fuente: Dirección General de Servicios Técnicos de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), 2004.

Cálculo del coeficiente de uniformidad

El coeficiente de uniformidad es proporcional al tiempo de concentración y se introduce para tener en cuenta el error introducido al superponer la uniformidad temporal de la precipitación.

$$K = 1 + \frac{t_c^{1.25}}{t_c^{1.25} + 14}$$

Previamente se calcula el tiempo de concentración (D) mediante la siguiente expresión:

$$D = Tc = 0.3 \cdot \left(\frac{L}{J^{1/4}} \right)^{0.76}$$

Donde,

- L Longitud del curso principal (km)
J Pendiente del curso principal en tanto por uno
Tc Tiempo de concentración (horas)

Cálculo del coeficiente de escorrentía

Se analizan las características del suelo y vegetación, y se reduce provisionalmente un valor de P_o , según las indicaciones de la tabla modificada del US Soil Conservation Service. El umbral de escorrentía P_o se podrá obtener de la siguiente tabla.

USO DE LA TIERRA	PENDIENTE (%)	CARACTERISTICAS HIDROLOGICAS	GRUPO DE SUELO			
			A	B	C	D
Barbecho	>3	R	15	8	6	4
		N	17	11	8	6
	<3	R/N	20	14	11	8
Cultivos en hilera	>3	R	23	13	8	6
		N	25	16	11	8
	<3	R/N	28	19	14	11
Cereales de invierno	>3	R	29	17	10	8
		N	32	19	12	10
	<3	R/N	34	21	14	12
Rotación de cultivos pobres	>3	R	26	15	9	6
		N	28	17	11	8
	<3	R/N	30	19	13	8

Rotación de cultivos densos	>3	R	37	20	12	9
		N	42	23	14	11
	<3	R/N	47	25	16	13
Praderas	>3	Pobre	24	14	8	6
		Media	53	23	14	9
		Buena	*	33	18	13
		Muy buena	*	41	22	15
	<3	Pobre	58	25	12	7
		Media	*	35	17	10
		Buena	*	*	22	14
		Muy buena	*	*	25	16
Plantaciones regulares	>3	Pobre	62	26	15	10
		Media	*	34	19	14
		Buena	*	42	22	15
	<3	Pobre	*	34	19	14
		Media	*	42	22	15
		Buena	*	50	25	16
Masas Forestales (bosques, monte bajo, etc.)		Muy clara	40	17	8	5
		Clara	60	24	14	10
		Media	*	34	22	16
		Espesa	*	47	31	23
		Muy espesa	*	65	43	33

Nota: N denota cultivo según las curvas de nivel y R, denota cultivo, según la línea de máxima pendiente.

TIPO DE TERRENO	PENDIENTE(%)	UMBRAL DE ESCORRENTIA(mm)
Rocas Permeables	>3	3
	<3	5
Rocas impermeables	>3	2
	<3	4
Firmes granulares sin pavimento		2
Adoquinados		1,5
Pavimentos bituminosos o de hormigón		1

Nota: 1. N: denota cultivo según las curvas de nivel. R: denota cultivo según la línea de máxima pendiente. 2. *: denota que esa parte de cuenca debe considerarse inexistente a efectos de cálculo de caudales de avenida. 3. Las zonas abalancadas se incluirán entre las de pendiente menor del 3%.

(Fuente: Orden del 14 de mayo de 1990, por la que se aprueba la instrucción de carreteras 5.2 IC “Drenaje Superficial”. BOE núm 123, de 23 de mayo de 1990).

Tabla 22. Clasificación de suelos a efectos del umbral de escorrentía

GRUPO	INFILTRACIÓN (cuando están muy húmedos)	POTENCIA	TEXTURA	DRENAJE
A	Rápida	Grande	Arenosa Areno-limosa	Perfecto
B	Moderada	Media a grande	Franco-arenosa Franca Franco-arcillosa-arenosa Franco-limosa	Bueno a moderado
C	Lenta	Media a pequeña	Franco-arcillosa Franco-arcillo-limosa Arcillo-arenosa	Imperfecto
D	Muy lenta	Pequeño (litosuelo) u	Arcillosa	Pobre o muy Pobre

		horizonte de arcilla		
--	--	----------------------	--	--

Fuente: Orden del 14 de mayo de 1990, por la que se aprueba la instrucción de carreteras 5.2 IC “Drenaje Superficial”. (BOE núm 123, de 23 de mayo de 1990).

Se calcula C, aplicando la instrucción 5.2 del IC, Instrucción de Carreteras:

$$C = \frac{(Pd - Po) \cdot (Pd + 23 \cdot Po)}{(Pd + 11 \cdot Po)^2}$$

Precipitación máxima diaria

En el presente estudio se obtuvieron las siguientes precipitaciones para los periodos de retorno de 10, 100 y 1,000 años en las estaciones cercanas al área de estudio.

Estación	P _{Tr=10}	P _{Tr=50}	P _{Tr=100}	P _{Tr=1000}
San Pedro	145.9	221.74	251.35	343.16
Los Robles	207.07	386.02	460.39	684.87
El Cajoncito	188.14	328.91	384.52	559.74
El Triunfo	171.25	258.78	291.29	396.34
El Carrizal	128.12	254.06	301.10	451.12
Alfredo V. Bonfil	137.25	198.75	212.37	277.41
Los Divisaderos	200.62	369.71	429.67	626.05
La Paz	102.16	154.60	177.98	243.93

Fuente: Módulo piloto para manejo y conservación de suelos y agua, para la protección de los recursos naturales e inducir la recarga del acuífero de La Paz, B.C.S., HIDROPROJECT, 2009.

Cálculo del caudal punta Q

Mediante los valores encontrados de I, C, Po, Pd, K, se procede a calcular el caudal punta Q (m³/s) mediante la fórmula propuesta al inicio del apartado.

Se ha utilizado el método de los caudales punta con períodos de retorno de 10, 25, 50, 100 y 500 años. A continuación se muestran los datos utilizados y los resultados:

Tabla 23. Datos de entrada para el cálculo de caudales.

Unidad Hidrológica	L (km)	J (m/m)	A (km ²)	tc (h)	K
I (El Novillo)	29.607	0.012	597	9.1271789	1.531
II (El Cajoncito)	24.234	0.0584	173	5.803178	1.391
III (La Huerta)	19.967	0.0378	116.35	5.4404592	1.372
IV (La Palma)	37.035	0.0671	264.43	7.8017021	1.482
V (El Novillo II)	5.262	0.0455	71.23	1.9062231	1.138

T (años)	Intensidad (I)					Pd (mm)				
	UI	UII	UIII	UIV	UV	UI	UII	UIII	UIV	UV
10	9	12	14	13	19	145.900	188.140	102.160	145.900	200.620
25	10	16	18	15	21	205.140	220.110	124.780	205.140	311.470
50	11	18	20	17	23	221.740	328.910	154.600	221.740	369.710
100	13	21	22	19	24	251.350	384.520	177.980	251.350	429.670
500	14	23	25	20	26	305.160	429.560	233.010	305.160	501.320

T (años)	Po(mm)					Coeficiente de Escorrentía (C)				
	UI	UII	UIII	UIV	UV	UI	UII	UIII	UIV	UV
10	72	102	39	69	141	0.151	0.127	0.224	0.163	0.067
25	72	102	39	69	141	0.249	0.168	0.286	0.262	0.175
50	72	102	39	69	141	0.274	0.288	0.357	0.287	0.224
100	72	102	39	69	141	0.314	0.340	0.406	0.328	0.270
500	72	102	39	69	141	0.380	0.378	0.500	0.395	0.320

Tabla 24. Cálculos de caudales para distintos períodos de retorno.

T (años)	(C·I)					Caudales punta Q (m³/s)				
	UI	UII	UIII	UIV	UV	UI	UII	UIII	UIV	UV
10	1.362	1.526	3.132	2.116	1.271	346.169	101.777	138.904	230.337	28.626
25	2.492	2.692	5.144	3.937	3.668	633.226	179.545	228.192	428.638	82.592
50	3.010	5.190	7.139	4.883	5.151	764.710	346.116	316.641	531.609	115.983
100	4.085	7.138	8.921	6.239	6.486	1038.003	476.027	395.719	679.307	146.031
500	5.318	8.686	12.506	7.892	8.328	1351.260	579.295	554.724	859.217	187.507

2.3.4. Erosión en la zona de estudio

La erosión es un proceso natural que forma parte del ciclo geológico externo en la corteza terrestre, donde se produce erosión, transporte y sedimentación de los materiales geológicos cuando se exponen a la acción de los distintos agentes ambientales que producen la meteorización. A escala de tiempo humano, los procesos erosivos pueden llegar a tener graves consecuencias naturales, sociales y económicas: entre otras, aterramientos de embalses, agravamiento de las inundaciones e incremento de su frecuencia, deterioro de ecosistemas naturales, etc., pero sobre todo la pérdida de suelo y su fertilidad.

En la zona de estudio, caracterizada por un régimen climático árido-seco, destaca la escasez de lluvia a lo largo del año, la incidencia de ciclones en el verano, un relieve medianamente abrupto, falta de vegetación y un excesivo sobrepastoreo que termina por erosionar los suelos de la cuenca. Además, dada la escasez de agua, los acuíferos de la zona se encuentran sobreexplotados (Díaz, 2004), lo cual acentúa más aún la aridez del sector.

En Baja California Sur, la ganadería ha sido una de las principales actividades económicas en las sierras y llanuras donde el agua simplemente no es suficiente para desarrollar la agricultura. Debido al crecimiento de la población y a la presencia de largas sequías desde hace más de 100 años existen prácticas de sobrepastoreo. Existen testimonios de las actividades de los rancheros en la época de sequías, en las que se menciona, que una

vez que las vacas y las cabras comían todo el follaje bajo, era necesario completar su forraje, por lo que los rancheros cortaban las ramas altas de los árboles y les preparaban biznagas, choyas, tunas, nopales, además de chamuscar los últimos tres; otra práctica común era la de los “cambiaderos”, que ese trata de los rancheros que se mudaban junto con el ganado que cuidaban, principalmente cabras, de un rancho a otro cuando menos una vez al año, que era el tiempo que las tinajas permanecían con agua; por lo que el ganado abarcaba una gran superficie para pastorear, y consecuentemente, producía efectos negativos sobre la capa de suelo.

En general, los arroyos de la cuenca de La Paz se caracterizan por su tipología del sustrato, mayoritariamente arenoso, en relación con la mayor diversidad que muestran, por ejemplo las ramblas del sureste español (ramblas calizas, metamórficas y margosas: Gómez, 2005). Esto es debido al tipo de litologías dominante en las cuencas de drenaje y sobre todo, a la tectónica del territorio.

En efecto, así como en Baja California Sur predominan los materiales de origen volcánico (Silver & Chappell, 1988), en el sureste español, materiales calizos, volcánicos y metamórficos, se mezclan tras un proceso tectónico en un cuaternario muy complejo (Arana, 1999).

Un rasgo distintivo entre ambos sistemas se refiere a la homogeneidad del sustrato del lecho que presentan los arroyos sudcalifornianos en los que claramente dominan las arenas, en relación con la heterogeneidad que se manifiesta en los distintos tipos de ramblas españolas, en los que aparecen mezclados materiales gruesos (bloques y cantos), de tamaño medio (grava y arenas) y finos (limos y arcillas).

En relación con las características morfológicas de estos cauces, los arroyos estudiados se localizan a altitudes menores que los del Sureste español, sus lechos son mucho más anchos que cualquiera de los tipos estudiados en España, y sus taludes, por término medio, son muchos más altos, lo cual refleja, por un lado que los procesos erosivos que

conforman estas morfoestructuras son muy intensos, excavando en profundidad los cauces y ensanchando la ladera por donde evacuará el agua de lluvias intensas (Díaz y Troyo, 1997) y por otro, hacen referencia al material blando y deleznable mucho menos resistente a los procesos erosivos.

Para la realización del presente estudio, se trabajó bajo un esquema desafortunado de falta de información que existe en México sobre el tema, ya que actualmente no existe ningún estudio previo para la cuenca de La Paz que tenga registro de datos de erosión precisos.

Previamente, en 2002 la SEMARNAT publicó mapas donde se señalaron los riesgos de erosión y el nivel de degradación de los suelos en México, sin embargo estos mapas fueron realizados para una escala de 1: 10 000 000, con lo cual la información a detalle para una región en específico es complicada de obtener. Según estos mapas, en Baja California Sur casi no existe pérdida de suelo, y solamente en algunas zonas agrícolas del estado se presenta una erosión de ligera a moderada.

Por lo que fue sumamente necesario proceder a generar un mapa de erosión del suelo en la cuenca de La Paz, aplicando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE). Para crear las capas correspondientes a cada factor que utiliza la mencionada ecuación (erosividad de la lluvia, cubierta vegetal, vulnerabilidad del suelo a la erosión, relieve y prácticas de manejo para el control de la erosión) se utilizó el mapa de uso del suelo obtenido previamente y un mapa de distribución espacial de suelos con base en su textura, consistencia de los agregados y profundidad del suelo.

Finalmente, se considera que la cuenca de La Paz sufre un proceso de desertificación paulatino, gradual y constante, por lo que es recomendable tomar las decisiones pertinentes que lleven a mejorar los patrones de cultivo, disminuir el sobrepastoreo y proteger el ecosistema natural, que es único en el país y que guarda flora y fauna endémica de alto valor ecológico para la región y el planeta.

2.3.4.1. Índices de protección del suelo por la vegetación

La vegetación presenta un papel muy importante para la protección, conservación y formación del suelo.

- Esta protege al suelo del impacto de las gotas de la lluvia en gran medida, contribuyendo a que éstas incidan sobre el terreno con menor energía cinética, gracias al efecto del frenado a las que les somete.
- La vegetación contribuye a disminuir la escorrentía superficial y a decrecer los caudales punta de avenidas.
- Las raíces de la cubierta vegetal con sus numerosos entramados protegen al suelo ayudando a que este no se degrade.

Esta protección se valora mediante un índice que varía entre 0 y 1, para lo cual se tiene en cuenta: El tipo de cubierta vegetal (tanto en cuanto a su parte aérea como en cuanto a su sistema radical), su densidad y espesura, los aprovechamientos a los que se le somete y la pendiente del terreno.

De acuerdo a la información que se obtuvo de la caracterización de la cuenca y tomando como base la asignación de índices de protección según tipo de vegetación, estado de la vegetación y pendiente.

El índice de protección de suelo por la vegetación es el siguiente:

Tabla 25. Índice de protección de suelo por la vegetación.

Cubierta vegetal	Pendiente				
	<5%	5-15%	15-30%	30-45%	>45%
Arbolado denso	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Arbolado claro	1.0	0.9	0.6	0.5	0.4
Matorral	0.8	0.7	0.4	0.3	0.2
Erial a pastos	0.6	0.5	0.2	0.1	0.0
Cultivos	0.4	0.3	0.0	0.0	0.0
Sin vegetación	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Para su consulta en el Anejo III figura el Mapa de índices de Protección del suelo por la Vegetación, el cual fue realizado mediante la superposición de los mapas de usos de suelo y vegetación, y el mapa de pendientes para la cuenca, con ayuda del SIG.

2.3.5. Hidrogeología

En Baja California Sur los acuíferos constituyen los principales reservorios de agua, que a través del tiempo han sustentado el crecimiento urbano de las principales ciudades de la entidad, sin embargo, actualmente se encuentran sobreexplotados y con problemas fuertes de intrusión marina. La única fuente de abastecimiento de agua de la ciudad de La Paz y poblaciones circunvecinas así como para el riego agrícola de la zona, es el agua subterránea almacenada en el denominado acuífero de La Paz. Para asegurar la recarga del acuífero y de este modo propiciar un desarrollo económico sostenible de la región, la política gubernamental ha colocado como punto estratégico el aprovechamiento sostenible del recurso agua; sin embargo ya en la realidad han sido pocas las acciones reales para preservar dicho recurso.

El acuífero de La paz, se caracteriza por ser un acuífero libre, con un espesor máximo de 400 m. Presenta características de buena porosidad y permeabilidad por el tipo de material de origen aluvial como arenas finas a gruesas, gravas, guijarros y cantos rodados, así como materiales volcánicos como brechas y conglomerados. Este acuífero tiene como base una capa volcánica poco permeable. Bajo este acuífero existe otro acuífero semiconfinado

con un basamento granítico, el cual está formado por material de origen volcánico pero con características permeables que les permite almacenar agua.

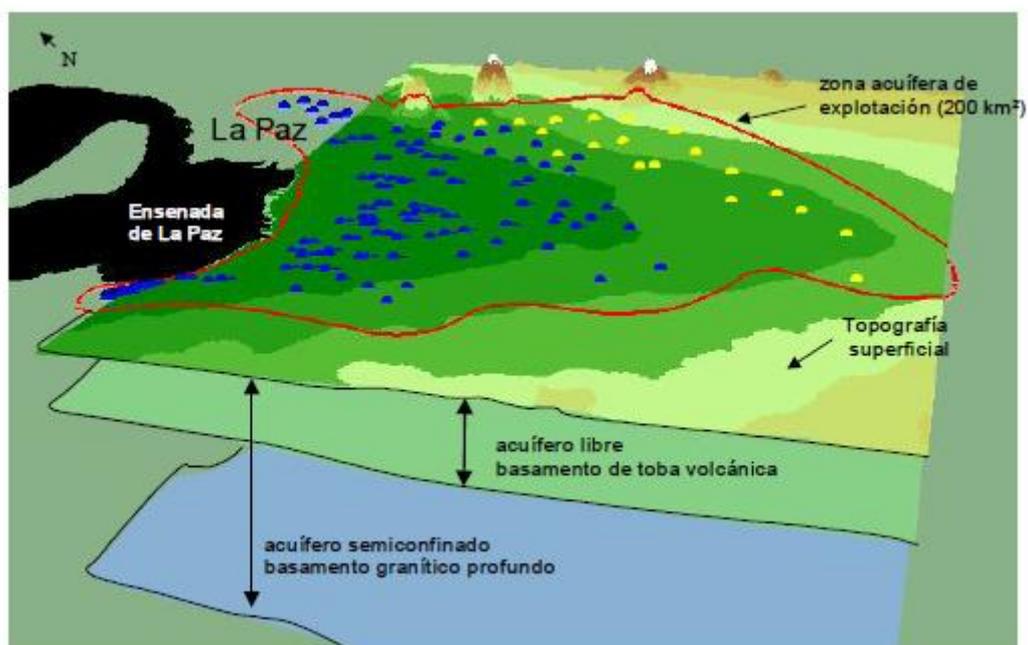


Figura 19. Estructura del acuífero de La Paz. Fuente: Caracterización y Diagnóstico del Acuífero de La Paz B.C.S. Mediante Estudios Geofísicos y Geohidrológicos. Cruz, 2007.

Actualmente, el acuífero está sobre concesionado y se encuentra en condiciones de sobreexplotación (CONAGUA, 2010), debido a que las extracciones anuales han sobrepasado la disponibilidad total del agua (rendimiento permanente). La sobreexplotación del acuífero se debe a diversos factores, entre los que destacan el incremento en las demandas de agua de los diversos sectores de usuarios, la falta de medición y de sistemas de control de las extracciones del subsuelo, la ausencia de infraestructura hidráulica que propicie y facilite la recarga. A su vez, la demanda es resultado del incremento demográfico, expansión de la ciudad de La Paz, crecimiento y diversificación de la industria y los servicios.

Como prueba de la sobreexplotación del acuífero y la intrusión marina, de acuerdo a información de 1990 a 2004, se detectó que la profundidad del nivel freático (nivel de agua referido al NMM) ha disminuido notablemente hasta 13 m bajo el NMM (nivel medio del mar), y los STD (sólidos totales disueltos) se han concentrado en zonas alejadas de la línea de costa (Cruz, 2007), principalmente en donde se ubica la batería de pozos de SAPA (Sistema de Agua Potable y Alcantarillado).

De la evolución de los STD se infiere que la cuña de intrusión de agua de mar en la zona acuífera de explotación se localizaba en el 2004 aproximadamente a 5.25 km de la línea de costa en la parte este, y 6.25 km en la parte oeste del acuífero.

La velocidad teórica de avance de la cuña de agua de mar hacia el acuífero, la cual es irregular, se estima entre 150 a 200 m/año.

El volumen total concesionado del acuífero de La Paz está asignado principalmente a usos consuntivos humanos (63%) (CONAGUA, 2008). A diferencia de la mayoría de acuíferos del país, la agricultura ocupa el segundo lugar en volumen asignado (31%) (CONAGUA, 2008).

Tabla 26. Asignación de volúmenes de pozos del acuífero de La Paz por tipo de uso autorizado para su extracción (registrados a octubre del 2008).

Tipo de Uso	Pozos	%Total Pozos	Concesionado 2008 (m³)	%Total Volumen Concesionado
Servicios	12	4.7	211 224	0.7
Público Urbano	12	4.7	19 602 000	62.3
Doméstico	5	1.9	142 500	0.5
Múltiple	93	36.2	1 133 480	3.6
Industrial	6	2.3	567 320	1.8
Pecuario	75	29.2	199 320	0.6
Agrícola	54	21	9 618 820	30.6
TOTAL	257	100	31 474 664	100

Fuente: COTAS La Paz, 2010 con información del Registro Público de Derechos de Agua (REPGA, CONAGUA) actualizado a octubre del 2008.

Actualmente, el sistema acuífero se encuentra en condiciones críticas, pues por varios años ha sido sobreexplotado, conforme la ciudad capital, La Paz, ha ido creciendo y requiriendo mayores volúmenes de agua, más otros requerimientos extras de agua ligados a su desarrollo.

Es importante reconocer que un buen manejo de la cuenca de La Paz puede contribuir a incrementar la recarga natural del sistema acuífero, pero al mismo tiempo es conveniente considerar la posibilidad de recargar artificialmente el sistema.

Con información piezométrica (niveles de agua subterránea) y la ecuación de gradiente hidráulico, se estimó la recarga por flujo subterráneo de agua dulce y agua de mar en la zona acuífera de explotación. Los resultados indican una recarga total de agua dulce de 18.5 Mm³/año. Con el dato de extracción de 32 Mm³/año, se estimó un balance de 13.5 Mm³/año, pero debido a que la recarga estimada de agua de mar fue de 4.5 Mm³/año, el balance se reduce a 9 Mm³/año (Cruz, 2007).

Una solución pertinente al problema urgente de abastecimiento de agua, tanto presente y futuro de la Ciudad de La Paz es concebir y manejar el sistema hidrológico, llámese cuenca superficial y cuenca subterránea de una manera integral y no mediante componentes separados.

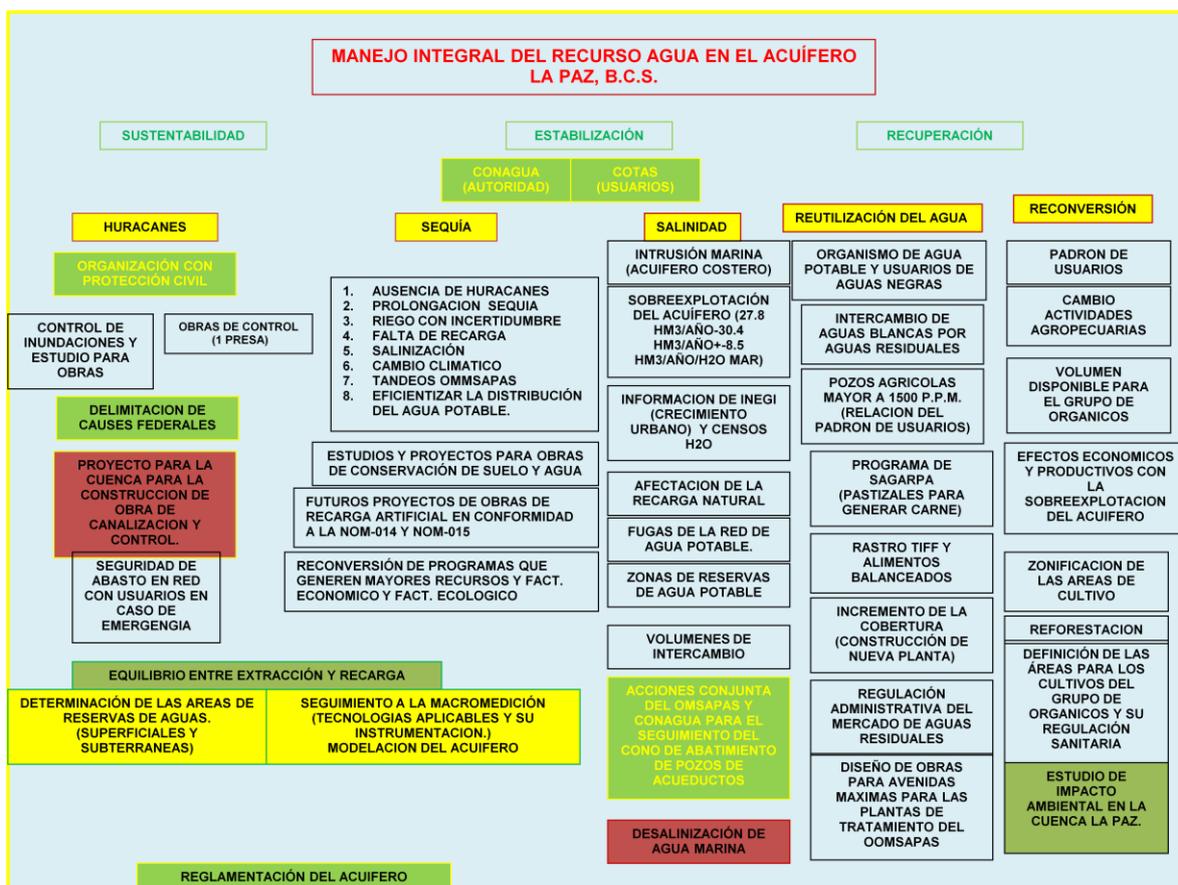


Figura 20. Manejo integral del recurso agua en el acuífero La Paz, B.C.S.

Entre las posibles obras de conservación de suelos y agua destinadas a la recarga del acuífero La Paz, una de ellas sería rehabilitar la zona de La sierra La Trinchera, ubicada al sur de La Sierra Las Cruces, que es una región bastante erosionada y que requiere atención urgente, ya que su rehabilitación podría estimular favorablemente la producción de lluvia y por lo tanto la recarga natural para el acuífero. En cambio la sierra de Las Cruces, dada su actividad tectónica, es una gran productora de sedimentos, que requieren ser manejados apropiadamente y de ser factible unidos a la recarga artificial, mediante la construcción de gaviones y presas subterráneas sobre los cauces de orden inferior.

2.4 METODOLOGÍA DE ORDENACIÓN DE LA CUENCA BASADA EN EL MÉTODO USLE DE ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN

El desarrollo de ecuaciones empíricas para calcular pérdidas de suelo se inició en 1940 con Zingg (Wischmeier y Smith, 1978). Pero fue hasta 1962, con los trabajos de Wischmeier y colaboradores, que se elaboró la USLE (Wischmeier y Smith, 1959). La cual fue diseñada como herramienta de trabajo para conservacionistas, técnicos y programadores del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos USDA (Wischmeier, 1978).

Uno de los enfoques más utilizados para la predicción de la pérdida anual de suelo es el que utiliza la USLE, al considerar los factores más importantes que intervienen en el proceso erosivo y tratar de evaluarlos cuantitativamente. Las aplicaciones para las cuales la ecuación fue diseñada y probada son:

- Predicción de pérdidas de suelo.
- Evaluación y selección de prácticas de conservación.
- Estimación de las longitudes máximas permisibles de las pendientes para un sistema de cultivo dado.

El modelo USLE estima la erosión anual promedio en una determinada situación de uso y manejo del suelo teniendo en cuenta los factores que afectan la erosión: el clima, (erosividad de la lluvia en la región bajo estudio), las características físicas y topográficas del suelo, el sistema de uso y manejo del suelo, y las medidas mecánicas de control. La expresión del modelo corresponde a la siguiente ecuación:

$$A = R \cdot K \cdot (LS) \cdot C \cdot P$$

Donde:

- A Tasa de pérdidas de suelo (t/ha·año)
- R Índice de erosión pluvial de Wischmeier (J cm/m² hora)
- K Factor erosionabilidad del suelo (t m² hora/J cm ha)
- LS Factor topográfico (adimensional)
- C Factor cultivo (adimensional)
- P Factor de prácticas de conservación de suelos agrícolas (adimensional).

De acuerdo a la ecuación anterior, las variables se dividen en dos tipos, físicas o cuantitativas y las cualitativas, que se asignan en función de una serie de parámetros también físicos. Las primeras incluyen a los factores R, K, LS; las variables cualitativas son los factores C y P, estos últimos además son factores manipulables o antropogénicos, por lo que los cuatro primeros factores, en conjunto, definen lo que se denomina erosión potencial, la cual es una condición teórica, bajo la cual el suelo no presenta protección alguna, y como su nombre lo indica es la condición máxima potencial de erosión para un punto o sitio dado. Por su parte los factores C y P son elementos atenuantes de la erosión potencial, por lo que una buena injerencia antropogénica sobre estos determina un terreno sostenible o en proceso de degradación.

La utilización del modelo USLE ha sido muy generalizada a nivel mundial y en España para numerosos proyectos de Restauración Hidrológico Forestal. De esta manera, la metodología se ha ido manteniendo y las herramientas de cálculo y representación de los factores que forman la ecuación han ido evolucionando.

Refiriéndose a México, el modelo USLE se ha empezado a usar en esporádicos estudios realizados para algunos Organismos de Cuenca en México que representan regiones consideradas como sustanciales para el crecimiento y desarrollo económico del país, como lo es el caso del Programa de obras y conservaciones para el Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México, Colegio de Postgraduados (2008).

Con esto se pretende mostrar que existe una amplia desinformación en la nación acerca de los procesos erosivos que está experimentando el territorio nacional a nivel de cuencas hidrográficas, por lo que consecuentemente pocos estudios en México se han enfocado a la estimación y evaluación de la erosión con fines de planeación y diseño de prácticas de conservación de suelos (Maya Yolanda, 2010).

De esta forma, son utilizados los Sistemas de Información Geográfica (SIG, en específico el uso del software ArcGis 9.3) para ejecutar la intersección de mapas temáticos de la zona de estudio para así obtener un mapa final, llamado mapa de erosión, mapa de estados erosivos o mapa de paisajes erosivos en donde el modelo es representado cartográficamente. Los mapas de pérdidas de suelo o estados erosivos se obtienen mediante la intersección de los siguientes mapas:

- Líneas iso-R
- Litofacies
- Pendientes
- Usos del suelo o vegetación
- Prácticas de conservación de suelos agrícolas

Como resultado, se obtienen recintos de igual grado de erosión que se clasifican en función de unos baremos o parámetros que son establecidos previamente.

2.4.1. Métodos de cálculo factores USLE

2.4.1.1. Factor erosividad de la lluvia (R)

La erosividad de la lluvia es definida como la capacidad potencial de ésta para provocar erosión y es medida a partir de los índices de erosividad, de los cuales el de más aplicación es el índice EI30 propuesto por Wischmeier en 1959 y es definido como el producto de la energía cinética total de la lluvia por la intensidad máxima en 30 minutos. Mide el efecto en que la erosión por salpicamiento y la turbulencia del flujo se combinan con el escurrimiento para remover las partículas del suelo separadas por éste (Figuroa *et. al.*, 1991). El mecanismo que desencadena el proceso erosivo es conocido como *splash*, impacto que ejercen las gotas de agua al incidir sobre el suelo desprovisto de vegetación y la salpicadura que produce consecuentemente.

En el caso de México, dado el escaso número de estaciones con pluviógrafos que existen en el país y, sin ningún tipo de información previa que regionalizara o agrupara zonas con el mismo factor R, fue conveniente regionalizar las estaciones meteorológicas de la zona de estudio a fin de caracterizar áreas sujetas a condiciones similares de lluvia.

Lo anterior solamente enuncia la realidad que prevalece en México, en la que desafortunadamente pocas instituciones se encargan de realizar mediciones hidrológicas continuas, y en la que la densidad de la red pluviométrica para la extensión de 1 972 550 de km² que tiene México, es limitada, con escasos pluviógrafos en funcionamiento y el resto en desuso o abandono, siendo el caso más común, la carencia de este tipo de aparatos a lo largo del territorio nacional. Por lo que se hizo uso de una metodología alternativa para determinar el factor R (FAO-PNUMA-UNESCO, 1980) a partir de la información hidrológica

disponible (CONAGUA) de las 11 estaciones climatológicas distribuidas en el territorio (5 estaciones en el interior de la cuenca y 9 estaciones en las zonas aledañas) de las cuales se tienen registros mensuales y diarios de precipitación y temperatura desde 1971 hasta la fecha.

Esta técnica se basa en el Índice modificado de Fournier (IMF), realizada por Arnoldus, (1977) el cual emplea para sus cálculos las precipitaciones mensuales de la siguiente manera:

$$R = \sum_{1}^{12} \frac{p_i^2}{P}$$

Donde:

R= erosividad de la lluvia

p_i , es la precipitación mensual del mes “i”, (mm) el cual puede estar en el rango enero-diciembre del correspondiente año.

P, es la precipitación anual (mm)

Tabla 27. Distribución del Factor R para las estaciones climatológicas de la cuenca de La Paz.

Nombre de la Estación	Factor R
El Cajoncito	43.232
El Carrizal	51.205
El Triunfo	107.673
Lagunillas	57.924
La Paz	33.798
Los Divisaderos	93.366
Los Robles	69.957
Los Planes	36.646
San antonio sur	102.142
San Bartolo	88.991
San Pedro	75.533
El Sargento	31.045
El Rosario	17.266
Alfredo B. Bonfil	31.287

La metodología utilizada para generar la cobertura del factor R climático se basó en un análisis de interpolación que permitió determinar la estructura y distribución espacial de la agresividad climática, en base a los datos puntuales de las estaciones climatológicas sobre el área de estudio. Este análisis requiere del uso de la herramienta *Spline* en ArcGis, que ejecuta un ajuste de superficie de acuerdo a los valores de entrada (valores R para cada estación), usando métodos de polinomios y mínimos cuadrados, y es útil cuando se trata de superficies que varían suavemente. En este caso al tratarse de datos de pluviometría se usó la herramienta *Spline*, mediante la cual se puede obtener un mapa de isoclinas del factor R para la zona de estudio, que ha de ser capaz de reflejar la torrencialidad de las lluvias para un determinado clima.

2.4.1.2. El factor erosionabilidad (K)

El término erosionabilidad del suelo, sugerido por Cook (1936), se usa para indicar la susceptibilidad de un suelo a la erosión. La erosionabilidad de los suelos está influida por algunas propiedades de los mismos, tales como la distribución del tamaño de las partículas primarias, materia orgánica, estructura del suelo, óxidos de hierro y aluminio, uniones electroquímicas, contenido inicial de humedad y procesos de humedecimiento y secado. Este factor además expresa la pérdida anual media de suelo por unidad del factor R, en las condiciones normalizadas para las parcelas tipo establecidas por Wischmeier, en la que los demás factores adquieren el valor unidad.

El cálculo del factor K puede ser estimado mediante una ecuación de manera directa o gráficamente mediante el nomograma de Wischmeier & Smith (1978), el cual suele ser menos exacto, debido al sesgo visual en que pueda incurrir el interesado (Figura 21). En ese caso es bueno apoyarse de una regla o algún elemento recto de manera que se pueda reducir el error visual.

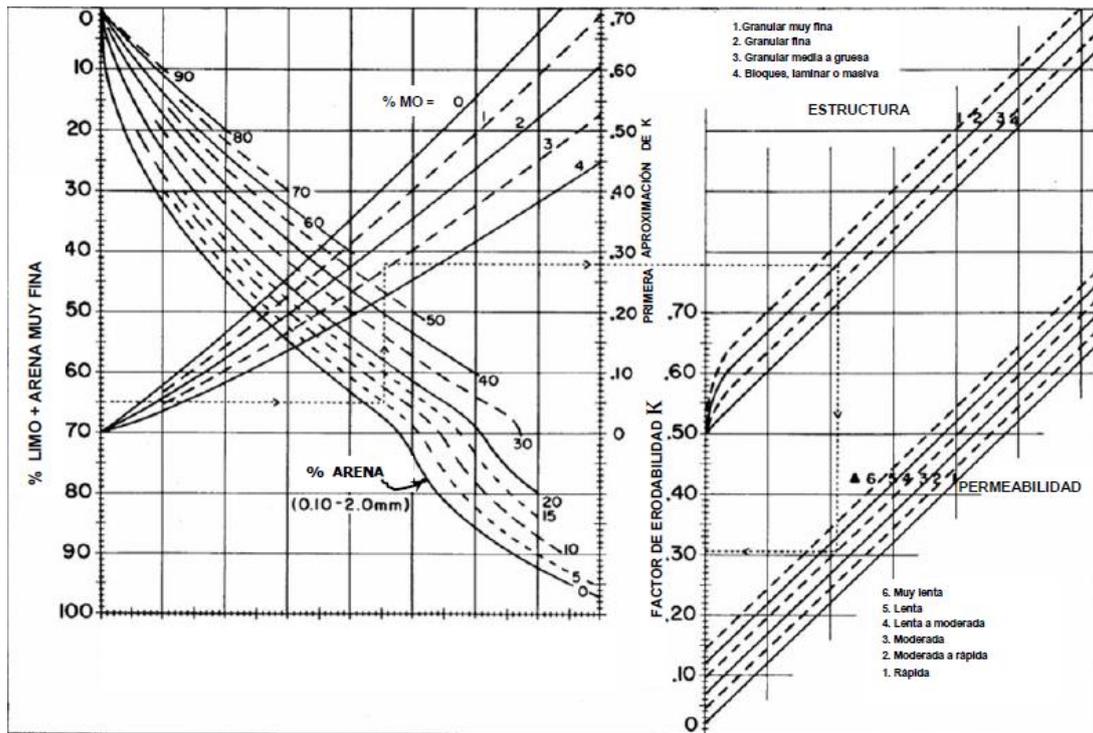


Figura 21. Nomograma del factor K (Figuroa *et al.*, 1991)

Previamente es necesario efectuar determinaciones anteriores de algunas propiedades edáficas de la zona de estudio. En este caso se utilizó el estudio Geohidrológico Complementario de las cuencas La Paz-El Carrizal (1985) donde se realizaron 115 muestreos de suelo a diversas profundidades y se obtuvieron las principales características edáficas para la zona de estudio, con lo cual estos datos fueron reagrupados y tratados digitalmente para su posterior utilización en ARCGIS. Siguiendo la ecuación de la USLE para calcular el factor de erosionabilidad mediante la siguiente expresión:

$$K = 1.313 * [(2.1^{10^{-4}}) * (12 - MO) * M^{1.14} + 3.25 * (s - 2) + 2.5 * (p - 3)] / 100$$

Dónde:

M= Factor representativo de la textura. Se calcula como el producto del porcentaje de partículas de suelo comprendidas entre 0,002 – 0,1 mm de diámetro, expresado en porcentaje, por el porcentaje de partículas del suelo comprendidas entre 0,002-2 mm de diámetro, expresado también en porcentaje. Es decir,

$$M = (100 - \%arcilla)(\%(limo + arena\ fina))$$

MO= corresponde al porcentaje de materia orgánica del suelo,

s= es el código de la estructura del suelo, de acuerdo a la siguiente codificación

Código	Clase de Estructura	Tamaño partícula (mm)
1	Granular muy fina y grumosa muy fina	<1
2	Granular fina y grumosa fina	1-2
3	Granular media, grumosa media y granular gruesa	5-10
4	Laminar, masiva, prismática, columnar y granular muy gruesa	>10

Fuente: Wischmeier y Smith, 1978

p= código de permeabilidad del perfil del suelo, bajo la codificación del USDA-Soil Survey Manual:

Textura	Código	Clasificación	Conductividad hidráulica (mm h ⁻¹)
Arenosa	1	Rápida a muy rápida	>60
Franco arenosa	2	Moderadamente rápida	20-60
Arena francosa, Franco, Franco limosa	3	Moderada	5-20
Franco arcilla arenosa	4	Moderadamente lenta	2-5
Franco arcillosa, franco limo arcillosa	5	Lenta	1-2
Arcillo arenosa, Arcillo limosa, Arcillosa.	6	Muy lenta	<1

Fuente: Wischmeier y Smith, 1978

Los valores para el % de limo y arena muy fina, % de arena (0.1-2.0 mm), % de materia orgánica y estructura, se toman de los 15 a 20 cm superiores del perfil edáfico. El valor de permeabilidad se refiere a todo el perfil. Cabe señalar que esta ecuación es válida para suelos que tienen 70% o menos de fracción limosa.

En el estudio geohidrológico La Paz-El Carrizal (1985), a partir de las muestras de suelos a lo largo y ancho de la cuenca, fue posible calcular los valores respectivos del factor K para la zona de estudio y posteriormente mediante el uso de la herramienta de interpolación *Kriging*, en Arc Gis, la cual es adecuada cuando se conoce que hay una influencia direccional o de distancia correlacionada espacial en los datos. El kriging se utiliza a menudo en las ciencias del suelo y la geología. El mapa de distribución del factor K, se incluye en el Anejo III, así como también el conjunto de datos necesarios para el cálculo del factor K.

2.4.1.3. El factor longitud-inclinación LS

La inserción de factores topográficos agrega un sustento importante en el modelo USLE. Este factor combina el factor, L, longitud de pendiente y el factor pendiente, S, resultando un valor que aumenta el valor final de las pérdidas de suelo conforme aumenta la pendiente del terreno. En términos llanos, el grado de inclinación de un terreno (S) da el componente de gravedad que es necesario para iniciar el movimiento del flujo y que este tome velocidad, en cambio la longitud de la pendiente (L) es un factor que regula el volumen de agua que fluye en una ladera específica, y en consecuencia el esfuerzo de corte que el flujo tiene.

En un principio los factores L y S se determinaron como:

$$LS = \left(\frac{\lambda}{72.6}\right)^m * (65.41\text{sen}^2\alpha + 4.56 * \text{sena} + 0.065)$$

Donde λ es la longitud de la pendiente en pies, α el ángulo de pendiente y m un coeficiente que toma los siguientes valores:

S (pendiente)	Valor <i>m</i>
<1%	0.2
Entre 1 y 3%	0.3
Entre 3.5 y 4.5%	0.4
>5%	0.5

El inconveniente de la fórmula anterior es que emplea unidades inglesas, las cuales no son habituales en Latinoamérica, y para evitar la necesidad de realizar transformaciones de unidades, se comenzó a emplear la ecuación descrita por Arnoulds (1977), que es la siguiente:

$$LS = \left(\frac{\gamma}{22.1}\right)^{0.6} * \left(\frac{s}{9}\right)^{1.4}$$

Donde, γ representa la longitud de la ladera en pendiente (en metros) , y s es el porcentaje de dicha inclinación. Las divisiones entre 22.1 y 9 en la ecuación representan las medidas de la ladera, sobre el grado de pendiente y longitud para la parcela estándar de la USLE.

En 1987 se da la última revisión del factor (McCool et al, 1987), para laderas más o menos uniformes, resultando las expresiones siguientes:

Para pendientes, $s < 9\%$ y longitudes de pendiente, $\lambda < 350$ m

$$L.S = \left[\frac{\lambda}{22.1}\right]^{0.3} * \left[\frac{0.43 + 0.30s + 0.043s^2}{6.613}\right]$$

Para pendientes, $s > 9\%$ y cualquiera que se ala longitud de pendiente.

$$L.S = \left[\frac{\lambda}{22.1}\right]^{0.3} * \left[\frac{s}{9}\right]^{1.3}$$

El factor LS que evalúa la erosionabilidad de los terrenos por causa única de su relieve, conjuga a su vez dos factores:

- La pendiente, es un factor fácilmente medible en el plano topográfico, ya que la define la distancia entre curvas de nivel.
- La longitud de pendiente, es un factor cuya determinación es difícil. Los métodos que mejor la estiman se basan en la valoración, en un área concreta, de la densidad de drenaje, a través de la cual se deduce una aproximación a la longitud de pendiente media en dicha área.

Para el cálculo del factor LS en la zona de estudio, fue necesario elaborar el modelo digital de elevaciones (MED) creado en ArcGis a partir de la capa vectorial de curvas de nivel para la cuenca de La Paz, adicionalmente son indispensables las siguientes capas digitales para la zona de estudio: polígono de delimitación de la cuenca, red de drenaje, vegetación y vías de comunicación.

Posteriormente, al contar con los datos anteriores se utiliza el software Usle2D, (Van Oost, K. & Govers, G. 2000). La vinculación de este programa en un SIG ofrece varias ventajas en el enfoque unidimensional y / o manual, ya que puede explicar el efecto de la convergencia del flujo y tiene ventajas en términos de rapidez de ejecución y la objetividad. El programa USLE 2D tiene la ventaja que proporciona los valores de LS para cada punto espacial ubicado en una cuenca y, a partir de ahí, esta información se puede aprovechar con un Sistema de Información Geográfica. Este software usa la fórmula de Mc Cool (1987) para el cálculo del factor LS.

El mapa final del factor LS se adjunta en el Anejo III.

2.4.1.4. Factor cubierta vegetal o factor C

El parámetro de vegetación C, representa la capacidad de la vegetación para impedir el arrastre de sedimentos; es decir, si el suelo permanece desnudo durante la época de

lluvias, su capacidad de permitir el arrastre de material es más alta que si tuviese algún tipo de cobertura, de tal forma que su determinación requiere de un análisis temporal, donde se conjugue la presencia de lluvia (factor R), con la desnudez del suelo. Dentro de la USLE el parámetro C representa un factor de reducción de erosión, razón por lo que carece de unidades.

La influencia del cultivo en la erosión, depende de:

- Especie cultivada
- Posición de la especie dentro de la alternativa
- Mezclas, si existen
- Forma y número de las labores
- Productividad
- Existencia de mayor o menor erosividad de la lluvia en el periodo del año en que se realiza el cultivo.

A continuación se justifica la asignación del valor de C a los distintos tipos de vegetación y usos del suelo existentes en la cuenca.

Para estimar el Factor C de cobertura vegetal, se utilizaron las composiciones mensuales del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) proporcionadas por el satélite NOAA-AVHRR (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA), de acuerdo con las relaciones propuestas por Garatuza- Payán (2005) generalizadas para las regiones semiáridas del Norte de México:

Factor C para Pastizales y Matorral Xerófito = $0.4304 - 0.0099 X + 0.00006 X^2$

Factor C para Matorral Espinoso = $0.2508 - 0.005 X + 0.00003 X^2$

Factor C para Selva Baja Caducifolia = $0.326 - 0.0071 X + 0.00004 X^2$

Factor C para Pino y Encino = $0.3732 - 0.0084 X + 0.00005 X^2$

Donde X es el valor de NDVI

Tabla 28. Valores NDVI para la Clasificación del NDVI de la época seca del año 2008, CONAFOR, México.

Selvas bajas	0.454
Matorral	0.193
Pastizal	0.145

Como en la zona de estudio existe una región de mezquital, se hizo uso de la clasificación del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) donde se estiman factores C para el entorno árido del estado de Arizona con una vegetación de mezquite, altamente similar a la que se localiza en la cuenca de estudio (Brady 2001).

Tabla 29. Factores asignados de C para vegetación de clima árido por el USGS.

Agricultura	0.3
Encinal roble mixto	0.013
Encinal mixtos de roble y mezquite	0.01
Semidesértico mixto de hierba y mezquite	0.09
Semidesértico mixto de hierba Yuca-Agave	0.18
Improductivo	1.00

Por lo que el factor C queda establecido para los usos de vegetación en la cuenca de La Paz como:

Estrato de vegetación	Factor C (valor medio)
Pastizal	0.4289
Selva baja caducifolia	0.322
Matorral crasicauale	0.2498
Matorral sarcocauale	0.428

Cultivos anuales	0.25
Mestizal	0.09

2.4.1.5. El factor de prácticas de conservación P

Por definición el factor P de la USLE representa la relación de la pérdida de suelo bajo una práctica de conservación específica respecto a la pérdida de suelo de la misma zona sin ningún tipo de práctica (Wischmeier y Smith, 1978). Existen tres tipos principales de prácticas de conservación (Figuroa *et al.* 1991):

- Surcado al contorno. Consiste en orientar el trazo de los cultivos paralelos a las curvas de nivel del terreno.
- Fajas al contorno. Es una práctica en la que se alternan fajas de praderas con fajas de cultivos en hilera o de granos pequeños. Esta práctica es más efectiva que el surcado al contorno. Tiene la ventaja de que al incluirse cultivos tupidos permanentes en rotación se tiene un valor más bajo de C. Entonces, el suelo erosionado de las fajas bajo cultivo es retenido al entrar a la faja con vegetación permanente.
- Terrazas. Estas reducen la erosión laminar y de canalillos en el intervalo de la terraza al dividir la pendiente en longitudes menores. Por otro lado el depósito de sedimentos a lo largo de la terraza remueve mucho el sedimento erosionado en el intervalo, en particular si la terraza esta a nivel con los extremos cerrados.

Este parámetro se refiere a las prácticas mecánicas y de labranza que modifican la estructura del suelo, retrasando o incrementando la susceptibilidad del material a ser arrastrado; cuando P toma valores cercanos a cero, nos indica que el suelo no está siendo erosionado debido a las prácticas mecánicas de conservación; y cuando toma el valor de 1, nos indica que se tiene la erosión máxima o potencial debido a que no existen prácticas. Estas variaciones son utilizadas, ya sea generando valores medios anuales para evaluaciones globales, o bien utilizándolas en evaluaciones temporales para generar un acumulado por temporada. En el caso de la cuenca de La Paz, al carecer de algún tipo de prácticas de conservación del suelo, el factor P, se ha valorado en 1 para toda la zona de estudio.

2.4.2. Tolerancia de pérdidas de suelo y tasa de erosión según el Modelo USLE

El concepto de pérdida de suelo tolerable se puede definir como la *cantidad de suelo en t/ha·año que un terreno puede perder sin que se vea afectada su productividad* (Mellerowicz, 1994). La evaluación de dicha tolerancia de pérdida de suelo en un terreno, factor básico para la utilización del modelo USLE en la ordenación, depende de diversos factores tales como la profundidad del suelo, sus propiedades físicas, el desarrollo de los sistemas radicales de la vegetación, la reducción de la materia orgánica, la pérdida de nutrientes y sementeras, etc.

Según López Cadenas de Llano y Blanco Criado (1968), “*esta tolerancia refleja la máxima pérdida de suelo que puede consentirse alcanzando todavía el grado de conservación necesario para mantener una producción económica en un periodo futuro previsible con los medios técnicos actuales*”.

Para Wischmeier y Smith (1978), una pérdida tolerable de suelo es *la tasa máxima de erosión que aún permite la sustentabilidad económica a largo plazo del nivel de productividad del suelo*, por su parte Miller (citado por Oyarzún, 1993), sostiene que las pérdidas por erosión a largo plazo no deberían exceder la tasa de formación del suelo. Los rangos de tolerancia para pérdida de suelo varían desde 11 t/ha·año para suelos profundos, permeables y bien drenados con alto nivel productivo a 2 t/ha·año para suelos delgados (Guevara, 1997).

En relación a las pérdidas de suelo, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación – Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente – Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (FAO-PNUMA-UNESCO, 1980), propone la siguiente clasificación:

Tabla 30. Clasificación Provisional para la Evaluación de la Degradación de los Suelos

Pérdidas de suelo A (t/ha·año)	Grado de erosión hídrica
10	Ninguna o ligera
10-50	Moderada
50-200	Alta
>200	Muy alta

Fuente: FAO, PNUMA y UNESCO (1981)

Para representar el modelo USLE, se realiza la superposición de los distintos mapas de los parámetros que integran la ecuación:

- Mapa de Cultivos y Aprovechamientos del suelo: definidor de C y P
- Líneas iso-R: definidor de R
- Intersección de litofacies según erosionabilidad y usos del suelo: definidor de K
- Mapa de pendientes: definidor de LS
-

Los resultados de la pérdida de suelo en la cuenca de estudio, se reflejan en la siguiente tabla, donde para establecer los intervalos de erosión en el mapa de pérdidas de suelo se ha respetado la clasificación anterior, aunque la misma se ha dividido en nuevos intervalos; con lo que el mapa de pérdidas de suelo se define en seis categorías, las cuales están acompañadas por el resultado de la distribución superficial de la cuenca en estudio.

Tabla 31. Superficie de pérdidas de suelo en la cuenca de La Paz

Nivel de erosión	Superficie(km²)
A<10 t/ha año	995.77
10<A<25 t/ha año	59.85
25<A<50 t/ha año	56.54
50<A<100 t/ha año	67.15
100<A<200 t/ha año	29.21
A>200 t/ha año	0.94

El mapa resultante con las pérdidas de suelo calculadas se adjunta en el Anejo III.

2.4.3. Mapa de usos futuros en base a la ordenación de la cuenca

Continuando con el esquema de ordenación de cuencas basado en función de la erosión, la forma de utilizar el modelo USLE corresponde a lo expuesto en la tabla anterior, donde A_t representan las pérdidas de suelo tolerables establecidas en 10 t/ha/año por FAO, PNUMA y UNESCO, y A son las pérdidas de suelo genéricas.

Por lo que consecuentemente será preciso conservar el uso actual de aquellas superficies en las que las pérdidas de suelo estén por debajo del umbral admisible, y por otro lado intentar llevar hasta niveles admisibles aquellos terrenos que son capaces de soportar pérdidas de suelo superiores, ya sea realizando prácticas de conservación en los suelos agrícolas o cambiando el uso del suelo.

Tabla 32. Ordenación de usos del suelo según el modelo USLE

Valoración del suelo en la parcela	Condición que debe cumplirse	Tolerancia respecto a la erosión
Terrenos forestales	$A_i < A_t$	Uso actual del suelo compatible
	$A_i > A_t$	Uso actual del suelo incompatible (sustituir o mejorar)
Terrenos agrícolas	$A_i < A_t$	Uso actual del suelo compatible
	$A_i > A_t$ $A_i B_i < A_t$	Siendo B_i prácticas de conservación de suelos. Uso compatible
	$A_i > A_t$ $A_i B_i > A_t$	Uso actual del suelo incompatible. Preciso reclasificar
Improductivo	No se considera	

Los terrenos improductivos no presentan pérdidas de suelo al tratarse de lagunas, carreteras, poblaciones, aunque en los caminos de tierra, comúnmente denominadas brechas de terracería, las pérdidas de suelo pueden ser considerables, aunque bien su importancia relativa es menor al representar poca superficie.

A partir del 30% de pendiente no disminuyen las pérdidas de suelo aunque se realicen prácticas de conservación de suelo, por lo que la única solución restauradora será el cambio de uso. Como se puede observar, en la ordenación de la cuenca teniendo en cuenta el modelo USLE, no se diferencian bien las formaciones vegetales. Si bien en este trabajo se ha superpuesto el mapa de ordenación con los usos del suelo de manera que en lugar de considerar exclusivamente terrenos agrícolas y forestales, se han distinguido además los otros usos. Las actuaciones se reducen a las siguientes:

1. Mantener uso agrícola (por ser compatible con la pérdida de suelo)
2. Mantener uso forestal (tolerable a las pérdidas de suelo)
3. Realizar prácticas de conservación de suelos
4. Repoblación en terreno forestal
5. Repoblación-Cambio de uso

De la aplicación de esta tabla se obtienen las siguientes superficies de actuación y el mapa número 14 resultado de la ordenación (Anejo III).

Tabla 33. Superficies de los usos de suelo asignados según el modelo USLE.

Código	Uso futuro	Superficie (km²)
1	Mantener uso agrícola	63.07
2	Mantener uso forestal	890.42
3	Realizar prácticas de conservación de suelos	0.99
4	Repoblación en terreno forestal	140.24
5	Repoblación-Cambio de uso	90.42
6	Improductivo	36.86
	TOTAL	1222

2.5. METODOLOGÍA DE ORDENACIÓN DE LA CUENCA CON CRITERIOS DE MINTEGUI (1990)

Esta metodología se basa fundamentalmente en los índices de protección del suelo por la vegetación en el modelo USLE y, considerando la vegetación como el elemento fundamental de gestión en la ordenación de una cuenca hidrográfica por ser el más manejable y asimismo, teniendo en cuenta que las prácticas de conservación en suelos agrícolas se pueden realizar, orientadas casi siempre a mantener el uso actual y no tener que modificarlo; Mintegui (1990) establece unos criterios para la ordenación Agrohídrológica de una cuenca vertiente que se encuentran recogidos en la tabla 34.

La aplicación de esta metodología implica, con su debida inherencia a las necesidades actuales, la ordenación agrohidrológica previa de la cuenca. Las cuales, es común que cada vez sean de mayor superficie y por tanto van presentando evidentes modificaciones en los usos del territorio, debido en gran parte, a los cambios en la forma de vida de las nuevas generaciones.

Con lo que consecuentemente, lo que hace un siglo se solucionaba aplicando la repoblación forestal a grandes superficies degradadas, hoy en la actualidad se emplea una ordenación agrohidrológica previa a las obras y trabajos de una restauración hidrológico-forestal.

Tabla 34. Criterios para la ordenación agrohidrológica de una cuenca alimentadora.

Pendiente	Uso Actual del suelo		Tipo suelo	Vocación del territorio	Aplicación del modelo USLE	Actuaciones en el territorio (Selección de alternativas)
	Estrato de la vegetación	Observaciones				
i>30	Arbolado Matorral Pastizales Cultivos	Estado en que se encuentra la vegetación: -Denso -Aclarado -No degradado -Afectado o no por razones sociales	Dependiendo de su vulnerabilidad a la erosión	FORESTAL	Según que: A<A _t O bien: A>A _t	Dado que i>30%, se propone con carácter general mantener, restaurar o crear el monte alto arbolado. No obstante, se analizan las situaciones singulares y se proponen soluciones concretas en general transitorias.
12<i<30	Arbolado Matorral Pastizales Cultivos	Estado en que se encuentra la vegetación: -Denso -Aclarado -Degradado	Dependiendo de su vulnerabilidad a la erosión	FORESTAL Ocasionalmente AGRÍCOLA	Según que: A<A _t O bien: A>A _t	-De existir arbolado se propone su continuidad y mejora. -Los matorrales y pastizales no degradados pueden permanecer; pero a los degradados se propone

		-No Degradado -Con o sin prácticas de conservación de suelos -Afectado o no por razones sociales				restaurarlos o transformarlos en monte alto arbolado. -De existir cultivos, siempre es necesario prácticas de conservación. -Para situaciones singulares se ofrecen soluciones concretas en general transitorias.
i<12	Arbolado Matorral Pastizales Cultivos	Estado en que se encuentra la vegetación: -Denso -Aclarado -Degradado -No degradado	Dependiendo de su vulnerabilidad a la erosión	AGRÍCOLA Ocasionalmente FORESTAL	Según que: $A < A_t$ O bien: $A > A_t$	No existen limitaciones para el uso del suelo en función de la pendiente. Para situaciones singulares se ofrecen soluciones concretas.

Fuente: Criterios para la ordenación agrohidrológica de una cuenca Alimentadora (Mintegui, J.A. 1990)

La tabla realiza hincapié en la utilización agropecuaria del suelo como actividad muy influyente en los procesos hidrológicos que tienen lugar en la cuenca. Por ello se plantea la ordenación intentando adaptar los usos actuales a los futuros y teniendo en consideración la vocación del territorio, ya que con frecuencia existen fuertes condicionantes sociales de cara a un posible cambio de uso.

Sin embargo, esta agrupación no tiene en cuenta determinados aspectos de interés para la ordenación como aspectos posicionales o zonificación de la cuenca (áreas dominantes y áreas dominadas), ni la capacidad actual del territorio para permitir un cierto nivel de la serie climática, es decir, no hace mención de las potencialidades bioclimáticas del medio (Tejera, 2001).

Esta metodología se aplica elaborando una superposición de los mapas de pendientes, pérdidas del suelo según el Modelo USLE, usos del suelo y mapa de erosionabilidad.

A partir de lo anterior para cada polígono con las mismas características, se le es asignado un uso futuro del suelo. Por lo que las superficies obtenidas después de realizar la ordenación de la cuenca se recogen en la tabla siguiente.

Tabla 35. Superficies definitivas de los usos asignados según la ordenación agrohidrológica con criterios de Mintegui Aguirre.

Código	Uso futuro	Superficie (km²)
1	Conservar cubierta arbórea	104.43
2	Mantener el matorral	765.98
3	Mantener el pastizal	10.88
4	Mantener la cobertura	19.21
5	Conservar cultivos	57.63
6	Mejorar el matorral	5.97
7	Mejorar el pastizal	0.07
8	Replacación forestal	204.4
999	Improductivo	53.43

La ordenación de la cuenca de La Paz bajo los criterios de Mintegui, se representa cartográficamente en el Anejo III.

2.6. METODOLOGÍA DE ORDENACIÓN DE LA CUENCA BASADA EN CRITERIOS DE SOSTENIBILIDAD

En la metodología para la ordenación de cuencas hidrográficas con criterios de sostenibilidad se tendrán en cuenta los siguientes elementos relevantes:

- La aplicación sobre un espacio físico definido territorialmente por la cuenca vertiente.
- Existe la concurrencia de recursos naturales, agua y suelo que son precisos de proteger.
- Contempla múltiples actividades socioeconómicas para hacer posible el sostenimiento económico de la población que ahí habita.
- Todas las actividades antropogénicas deben asignarse de acuerdo a la capacidad del medio para su acogida.

La planificación física, se fundamenta conceptualmente en la capacidad del territorio para acoger una actividad determinada, como resultado de la concurrencia de un conjunto de elementos ambientales significativos, que son los que le otorgan la aptitud para que pueda desarrollarse en él sin causarle daños (Ramos, 1979).

Como no es posible aplicar el concepto de capacidad de carga (máximo cuantitativo de una actividad o de sus efectos que puede soportar indefinidamente un hábitat o un ecosistema sin dañarlo de manera irreversible y permanente) por carecer de información cuantitativa necesaria, procede acudir, en la línea del informe Dobris (Agencia Europea del Medio Ambiente [AEMA], 1995), al concepto de capacidad del medio como expresión de su aptitud para acoger las diferentes actividades que pueden proponerse en la ordenación de la cuenca.

Uno de los conceptos clave en la aplicación de la sostenibilidad es el de “capacidad del medio para asumir determinadas actividades”.

La metodología con criterios de sostenibilidad considera tanto factores de aptitud como de impacto. Según Barredo (1996), la aptitud puede definirse como el potencial que posee un lugar para soportar una actividad determinada, es decir, el conjunto de requisitos que debe poseer un lugar para podrá acoger una actividad determinada; la aptitud varía como es lógico, a medida que varían los factores del medio o las clases de los factores, estableciéndose así un rango de aptitud para una actividad en un territorio dado. Mientras el impacto, puede entenderse como el efecto que una determinada actuación produce en los elementos del medio, o en las unidades ambientales, efecto que puede ser beneficioso o no, es decir , positivo o negativo (MMA, 1996).

2.6.1. Estudio de la problemática de la cuenca

La cuenca de La Paz, de acuerdo a descripciones y caracterizaciones previas presenta un estado de degradación ocasionado principalmente por las siguientes causas:

- Las características morfológicas, geológicas, climáticas y biológicas de la cuenca en estudio dan lugar a fenómenos de erosión y depósito de sedimentos que implican importantes pérdidas de suelo en una zona sumamente árida como lo es la cuenca de La Paz.
- Los resultados generales indican que el acuífero de La Paz tiene la capacidad potencial de almacenar suficiente de agua, el problema es la escasa precipitación que ocurre en la región, y la extracción de agua que es mayor a la recarga natural, lo que provoca un balance negativo. Consecuentemente el déficit de agua es ocupado por la intrusión de agua de mar.
- El paquete sedimentario (centro y norte de la cuenca) es producto de la erosión, transporte y depósito de las rocas que se encuentran a ambos flancos de la cuenca de La Paz. Todos estos suelos presentan gran susceptibilidad a la erosión, dependiendo

no sólo de la edafología, sino también en áreas con pendientes pronunciadas y en zonas altamente deforestadas por el sobrepastoreo.

- La zona de montaña presenta fuertes pendientes (mayores del 4%) y escasa vegetación; cuando llega a efectuarse una precipitación de tipo ciclónica, se presentan escorrentías que duran poco tiempo pero con grandes caudales y velocidades capaces de arrastrar gran cantidad de material suelto. En esta zona, la transformación y el deterioro de los ecosistemas por el avance de actividades agropecuarias han generando altas tasas de deforestación, procesos intensos de degradación de suelos, pérdida de biodiversidad.
- Existe una superficie importante de matorral degradado que como consecuencia presenta pérdidas de suelo importantes. La vegetación en su mayor parte es deficiente, con lo que predominaría la escorrentía frente a la infiltración.
- La explotación forestal se ha realizado como actividad complementaria en el medio rural, debido fundamentalmente a la potencialidad de los recursos, por lo que su aprovechamiento no ha sido de carácter persistente, pero si ha logrado modificar parte de la cubierta vegetal en la zona. En la producción maderable destacan leña para combustible, carbón y postes, y los no maderables, la damiana, hoja de palma, jojoba, orégano y corteza para curtientes.
- Existen superficies de vegetación arbustiva en terrenos con pendientes elevadas (superiores al 30%) que lejos de proteger el suelo, aportan elevados caudales sólidos a los arroyos.

2.6.2. Establecimiento de los objetivos y selección de actividades

La cuenca hidrográfica es un generador y almacén de agua, con la ordenación de la misma se pretenderá regular los caudales líquidos de forma que se produzca un mejor aprovechamiento cuantitativo del recurso, recarga de acuíferos, así como controlar los caudales y evitar inundaciones. La ordenación de la cuenca en estudio está encaminada al uso correcto de recursos naturales y a la corrección de situaciones de degradación. Como objetivo fundamental de carácter hidrológico forestal está la protección del suelo y control de la erosión.

Por otro lado, la cuenca tiene una serie de hábitats y espacios de gran interés para su conservación, de forma que se plantea la necesidad de plantear una serie de objetivos de protección/conservación y restauración del medio físico, aumentar su riqueza en biodiversidad y procurar un desarrollo sostenible (Tejeda, 2001).

Asimismo, se plantea como objetivo de carácter socioeconómico, el mantenimiento de las actividades agrícolas de la zona, que representan una actividad económica de fija relevancia para la región.

La presente metodología incorpora los objetivos de la protección hidrológico forestal, los complementarios de la ordenación de cuencas y los de sostenibilidad, apuntando a una visión holística del medio natural alentando el aprovechamiento sostenible de los recursos previo análisis del grado de conveniencia de las actuaciones que se propongan.

Para lograr estos objetivos, se proponen un conjunto de actividades a realizar que dependen de elementos del medio y pueden representarse mediante mapas temáticos. Los objetivos y actividades están reflejados en la siguiente tabla.

Tabla 36. Objetivos de la ordenación y actividades propuestas

Objetivos	Actividades
De carácter hidrológico forestal	
Proteger el suelo	1. Repoblación Forestal protectora 2. Completar espesura en masas con espesura defectiva
Evitar y/o controlar erosión en cauces	3. Hidrotecnias de corrección en cauces
De conservación de ecosistemas y aumento de biodiversidad (sostenibilidad)	

Aumento de biodiversidad Conservación y/o restauración de ecosistemas	4. Restauración de riberas 5. Repoblaciones para aumentar la biodiversidad 6. Conservación de enclaves de interés (conservar cultivos, cubierta actual)
De carácter socioeconómico	
Mantenimiento del uso agrícola	7. Mantenimiento del uso agrícola

Es común en los estudios de planificación física trabajar con escalas gráficas entre 1:100 000 y 1:250 000, en función de las características de la zona, la superficie y los objetivos que se definan (Claver et al, 1982).

2.6.3. Inventario y análisis del medio: cartografía temática

La caracterización del medio físico de la cuenca en estudio, requiere de la selección de una serie de elementos del medio descritos en capítulos anteriores, que son influyentes o guardan relación con las actividades propuestas. Cada elemento se divide en sus correspondientes tipos.

Los elementos del medio seleccionados son los siguientes:

- Pendiente
- Influencia hídrica
- Uso del suelo
- Litología
- Pérdidas de suelo
- Propiedad

- Protección
- Espesura de la cubierta arbórea

Estos elementos son inventariados mediante mapas a través de Sistemas de Información Geográfica, y son representativos de la zona de estudio al influir en la capacidad de acogida de las actividades planificadas.

Cada elemento del medio constituye una capa de información compuesta por una serie de recintos homogéneos denominado mapa temático. La digitalización de dichos recintos, la información alfanumérica asociada a los mismos y la construcción de topología, da lugar a cada una de las coberturas temáticas.

Utilizando el Sistema de Información Geográfica ArcGIS 9.3 han sido generados todas las coberturas necesarias para el análisis de la información y producción de diferentes mapas temáticos, los mismos que ya han sido nombrados y utilizados en apartados anteriores.

Las coberturas generadas se resumen a continuación:

- Pendiente: A partir de las curvas de nivel correspondientes a las hojas topográficas de la Base Vectorial de INEGI a escala 1:50 000 obtenidas de la Base de Datos Geográficos de INEGI. Con las curvas de nivel se construyó un Modelo Digital del Terreno (MDT) a partir del cual se creó un mapa en formato Raster en el que cada píxel contiene su cota como variable. Posteriormente, con la ayuda de las herramientas de ArcGis se calcula la pendiente en cada píxel y finalmente se hizo una clasificación de estos resultados para facilitar su representación gráfica.

- **Influencia hídrica:** A partir de la red hidrográfica obtenida en formato digital de la Base Vectorial de INEGI, se ha generado un buffer de 100 metros de anchura a la red hídrica. De esta manera se obtuvo una cobertura con dos clases de recintos: los de “influencia hídrica” y los de “no influencia hídrica”.

- **Usos del suelo:** Se elaboró esta cobertura a través del Mapa de Usos de Suelo y Vegetación de la Base Vectorial de INEGI.

- **Litología:** Se obtuvo esta cobertura a partir del mapa Geológico de México escala 1:250 000 elaborado por el Servicio Geológico Mexicano.

- **Pérdidas de suelo:** Cobertura generada por ArcGIS 9.3, a partir de la superposición de cada uno de los factores de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo, como se describe en el apartado correspondiente a su análisis.

- **Propiedad:** Esta cobertura incluye la propiedad pública de todos los montes existentes en la región, así como la delimitación de la principal zona urbana.

- **Protección:** Recoge los sitios susceptibles a ser considerados como parte de las áreas protegidas para la zona de estudio, por su alto valor ecológico y natural.

- **Espesura cubierta arbórea:** Cobertura obtenida del Mapa de Cubierta de Copa de México. Escala 1:200 000 elaborado por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR).

2.6.4. Estudio de la capacidad de acogida de las actividades

Las relaciones entre elementos del medio y actividades, desde el punto de vista de asignación de usos del suelo, se concretan en dos conceptos: capacidad y grado de conveniencia.

Teniendo en cuenta la cantidad de elementos y procesos que definen el medio físico sólo se tienen en consideración aquellos que son verdaderamente claves ante la actividad; es decir aquellos que presentan cualidades positivas o negativas o excluyentes para el desarrollo de la actividad.

La evaluación de la capacidad se realiza en dos fases:

- a) relación elementos del medio-actividades
- b) relación conjunto del medio-actividades

Hasta ahora en el desarrollo de este estudio se han definido un conjunto de actividades a_i ($i= 1,2,3\dots m$) y una serie de elementos del medio e_j ($j = 1,2,3,\dots n$) cada uno dividido en k tipos e_{jh} ($h= 1,2,3,\dots,k$). Es preciso establecer las relaciones $e_j R a_i$ entre los elementos y las actividades, de forma que el resultado signifique la capacidad de acogida del territorio para sostener cada una de las actividades propuestas.

La aptitud o capacidad de acogida para cada actividad, de cada una de las clases o tipos de cada elemento del medio seleccionado se evalúa con la siguiente escala cuantitativa:

p_{jh}^i (valor asignado al tipo h del elemento j ante la actividad i):

Excluyente	$-\infty$
Negativo	-1
Indiferente	0

Positivo +1

Muy positivo +2

Por lo tanto, la relación de elementos del medio-actividades se expresa mediante la siguiente matriz de dimensión $m \times n$, donde m corresponde a las actividades propuestas y n a los elementos del medio, con sus respectivos tipos, cuyas coberturas son descritas en el inciso 2.6.3. Cada una de las celdas de la matriz representa el valor asignado conforme a los criterios recogidos en la escala precedente; es decir la capacidad del tipo “h”, del elemento “j” del medio, para acoger la actividad “i” propuesta.

Tabla 37. Matriz de capacidad de acogida de las actividades

Elementos	Clase	Actividades								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Pendiente	0-3%	0	0	0	0	2	0	0	1	2
	3-12%	0	0	0	0	2	0	0	2	1
	12-24%	2	0	1	0	1	0	1	-∞	-∞
	24-30%	2	0	2	0	-1	0	1	-∞	-∞
	30-40%	2	0	2	0	-∞	0	2	-∞	-∞
	>40%	1	0	2	0	-∞	0	2	-∞	-∞
Influencia Hídrica	SI	0	0	2	2	0	0	0	0	0
	NO	0	0	-∞	-∞	0	0	0	0	0
Usos del suelo	Matorral sarco- crasicaule	2	-∞	-∞	-∞	1	0	0	2	-∞
		1	0	-∞	1	2	1	0	-∞	-∞
	Mezquital	2	-∞	-∞	-∞	1	0	1	2	-∞
	Matorral sarco- caule	1	-∞	-∞	-∞	-∞	0	0	0	0
	Pastizal	2	2	-∞	-∞	1	0	0	-∞	-∞

	Selva baja caducifolia	-∞	-∞	-∞	2	2	1	2	-∞	-∞
	Vegetación halófila	-∞	-∞	-∞	-∞	-∞	-∞	-∞	-∞	-∞
	Zona urbana	-∞	-∞	2	2	-∞	0	-∞	-∞	-∞
	Cuerpo de agua	1	-∞	-∞	-∞	1	-∞	2	-∞	2
	Riego									
Litología	Erosionable	2	1	1	1	0	0	0	1	1
	Poco erosionable	1	0	0	0	0	1	1	0	0
Pérdidas de suelo	Ninguna o ligera <10	0	1	0	0	1	0	0	1	2
	Moderada 10-50	1	1	1	0	1	0	1	-1	-1
	Alta 50-100	1	1	2	1	-∞	1	2	-∞	-∞
	Muy alta >100	2	2	2	0	-∞	1	2	-∞	-∞
Propiedad del suelo	Propiedad Pública	2	2	2	2	2	1	0	0	0
	Urbana	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Protección	Áreas protegidas	1	0	0	0	2	2	2	0	0
	Ninguna	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Espesura de la cobertura arbórea	Defectiva 40-80%	1	2	0	0	1	0	0	0	0
	Ralo < 40%	2	2	0	0	2	0	0	0	0
	Improductivo	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Actividades: 1. Repoblación forestal protectora; 2. Completar espesura en masas con espesura defectiva; 3. Hidrotecnias de corrección de cauces; 4. Restauración de riberas; 5. Repoblaciones para aumentar la biodiversidad; 6. Conservación de enclaves de interés; 7. Acotación de áreas al pastoreo; 8. Mantenimiento y mejora de matorrales; 9. Mantenimiento del uso agrícola.

En este caso los elementos del medio van a tener igual peso o importancia y, de este modo, para calcular el valor que representa la capacidad de un recinto del medio para acoger una actividad determinada el procedimiento informático ha sido el siguiente:

Cada cobertura de los elementos del medio genera nueve variables, una para cada actividad. Por ejemplo, para la cobertura “Pendientes”, se crean las siguientes variables: pend-actv1, pend-actv2.....pend-actv9 y de igual forma para las demás coberturas.

Utilizando las herramientas del programa ArcGis 9.3, se ha seleccionado cada cobertura con sus clases y se ha asignado el valor correspondiente a las 9 variables. Por ejemplo, para la cobertura “Usos del suelo”, se han seleccionado los polígonos con uso de suelo mezquital y se le da el valor 1 a uso-actv1, 0 a uso-actv2, $-\infty$ a uso-actv3,... y así sucesivamente para todas las variables. A las capacidades excluyentes ($-\infty$) se les asignó el valor -999 para que el programa pueda realizar los cálculos.

Se han de efectuar las mismas operaciones para las coberturas restantes de la matriz de capacidad: pendientes, influencia hídrica, litología, pérdidas de suelo, propiedad del suelo, protección y espesura de la cubierta arbórea.

Cuando son realizadas las operaciones anteriores, se lleva a cabo la superposición de las nueve coberturas referidas a los ocho elementos del medio. Esta superposición se efectuó de dos en dos con la herramienta *Identity* de ArcGis. Posteriormente, se crearon nueve variables, correspondientes a las nueve actividades. Los valores que toman cada una de dichas variables es la suma de todos los valores de cada polígono. Esta suma es igual a la capacidad del medio para acoger las diferentes actividades y consecuentemente se obtiene así una cobertura para cada actividad, en la que la única variable que existe es la representación de este valor.

Finalmente se dispone de una serie de valores representativos de la capacidad del medio para acoger cada actividad. Para hacer manejables los valores obtenidos, se procedió a establecer una estratificación de dichos valores en las siguientes clases:

Capacidad EXCLUYENTE	-
Capacidad BAJA	valores comprendidos hasta el percentil 25%
Capacidad MEDIA	valores entre el percentil 25 y el 75%,
Capacidad ALTA	valores mayores del percentil 75%.

Los valores de capacidad de acogida para las actividades y el resultado gráfico de los mismos se presentan en las siguientes figuras. La actividad 3 y 4 no ha sido incluida en los mapas al resultar no ser representativa a lo largo de toda la cuenca.

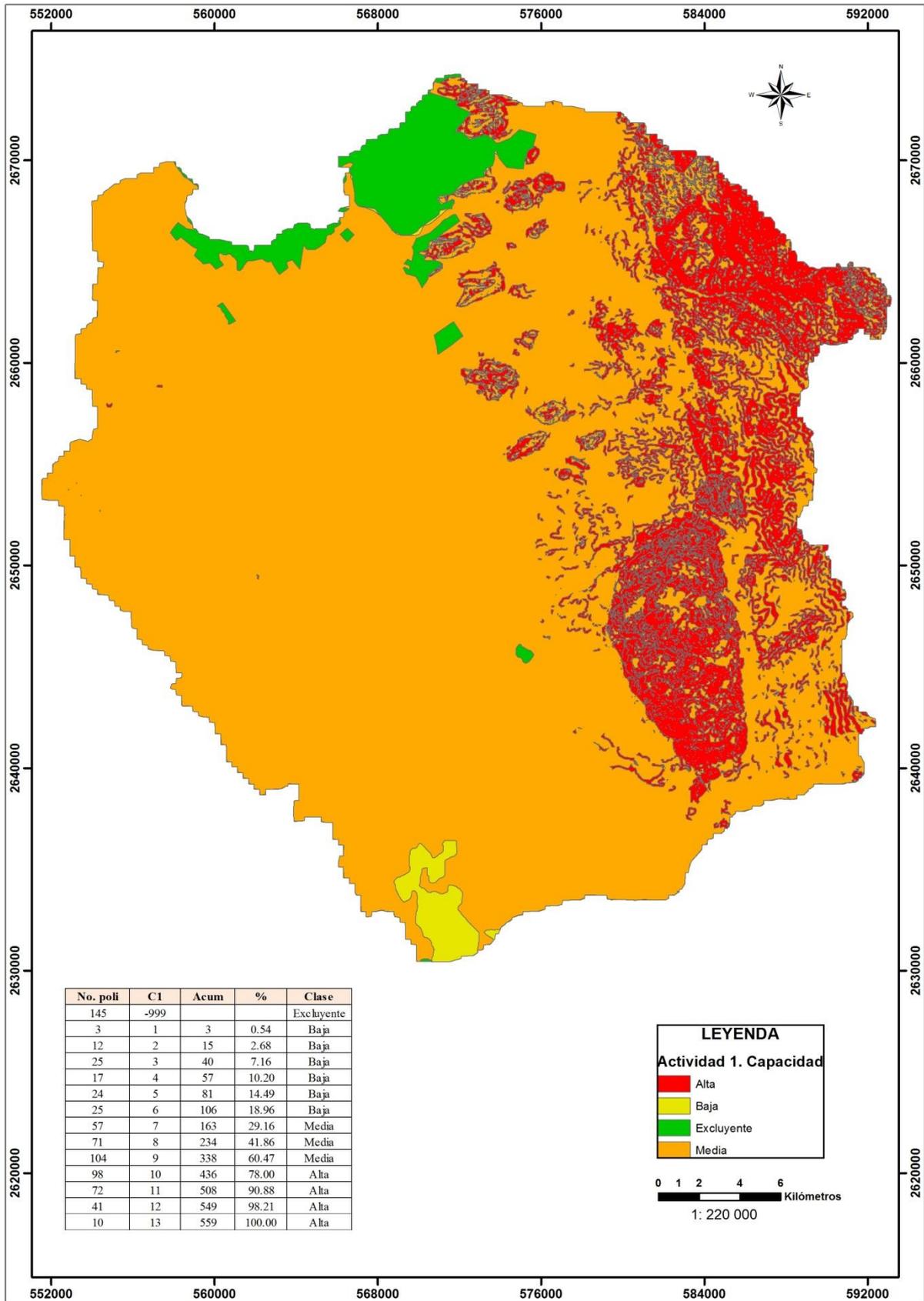


Figura 22. Capacidad para la actividad 1: Repoblación Forestal Protectora

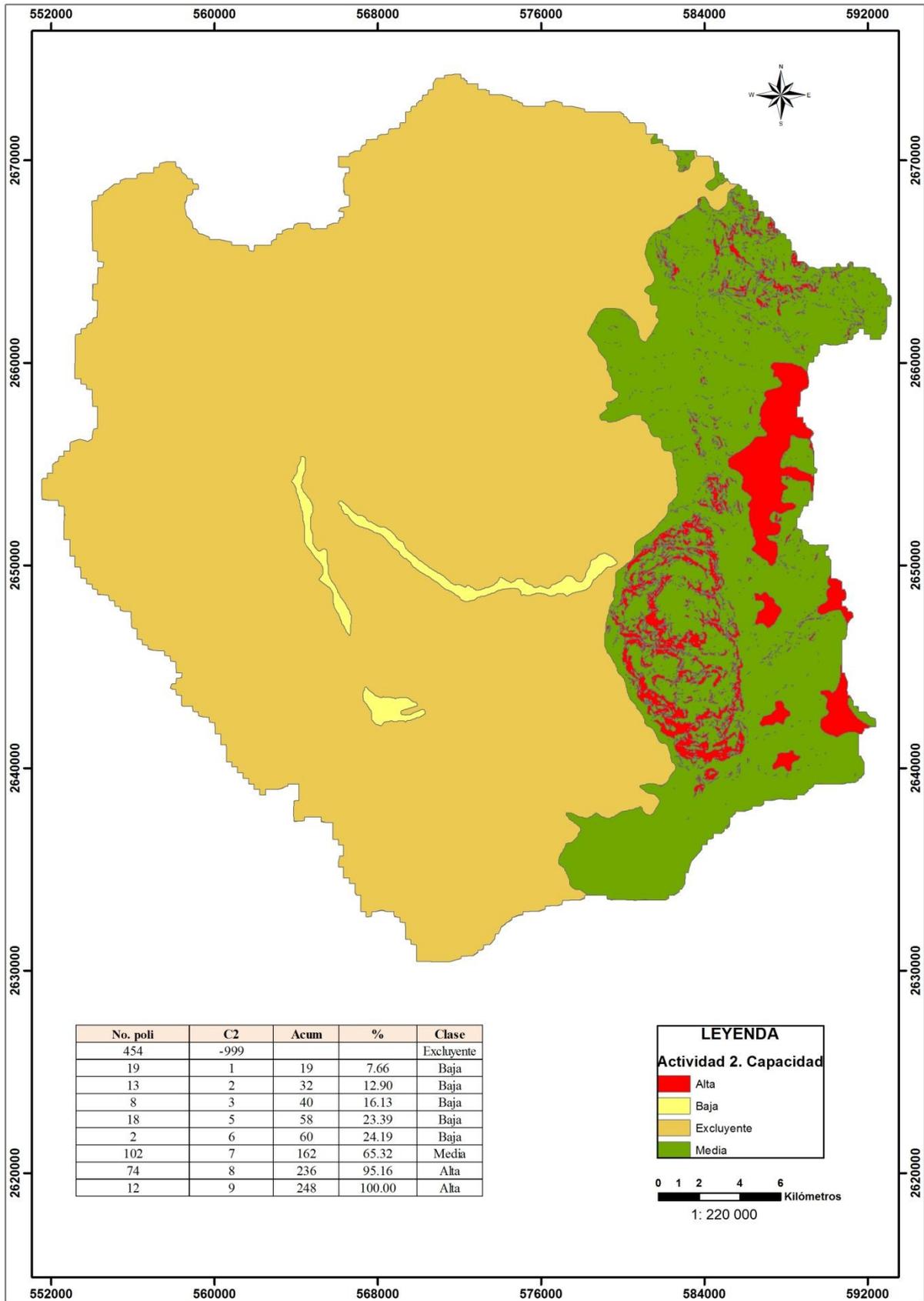


Figura 23. Capacidad para la actividad 2: Completar espesura en masas con espesura defectiva

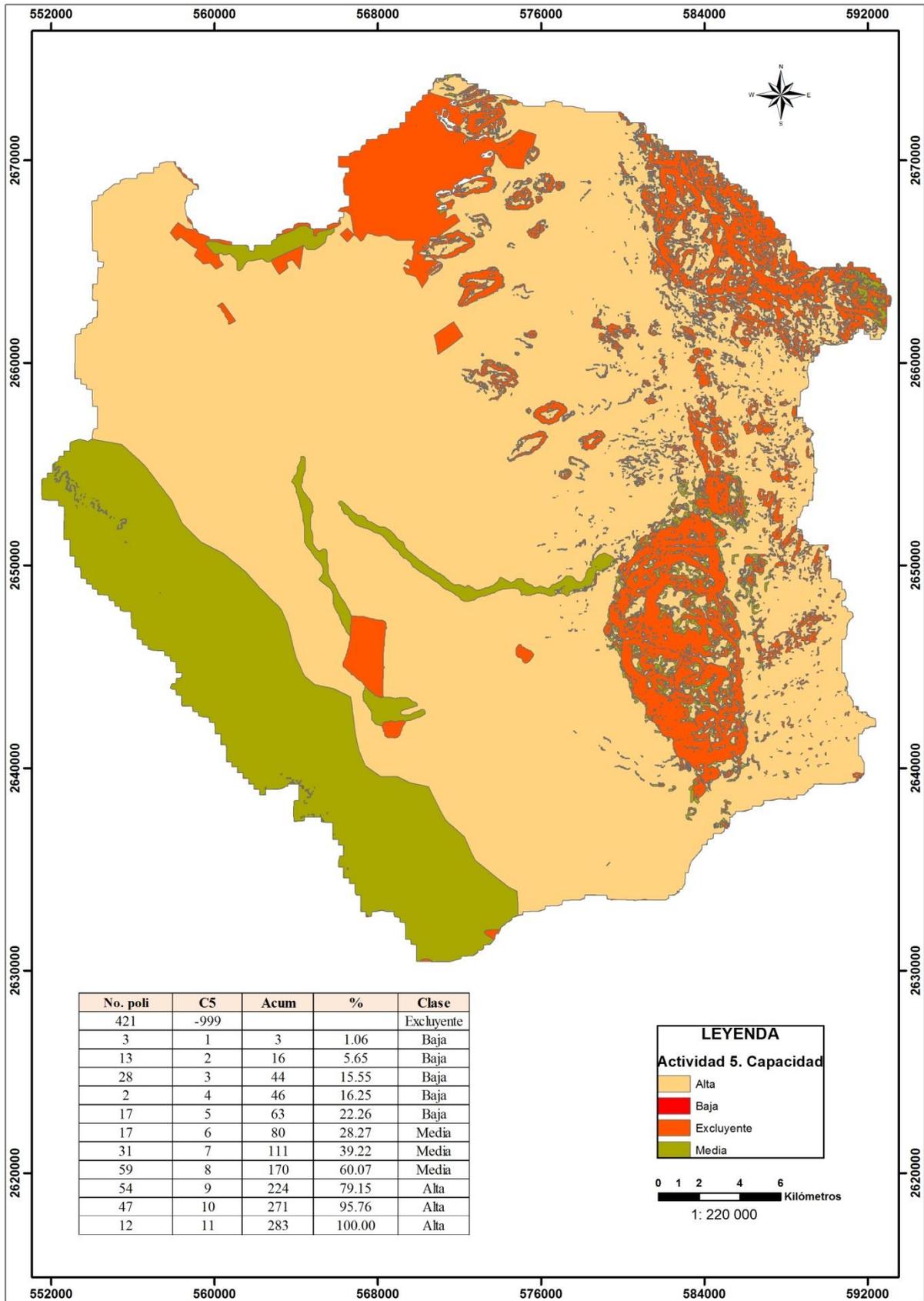


Figura 24. Capacidad para la actividad 5: Repoblaciones para aumentar la biodiversidad.

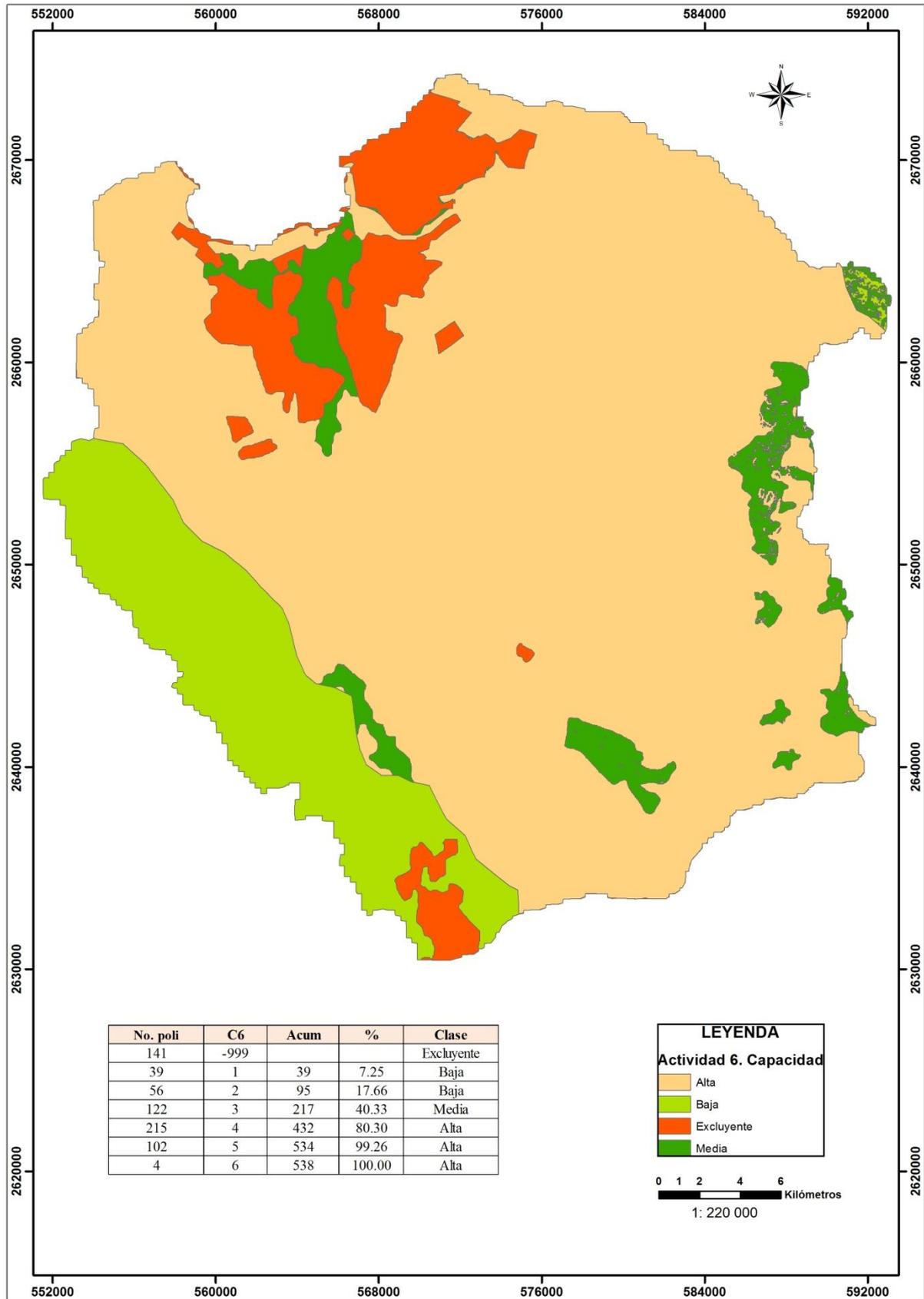


Figura 25. Capacidad para la actividad 6: Conservación de enclaves de interés.

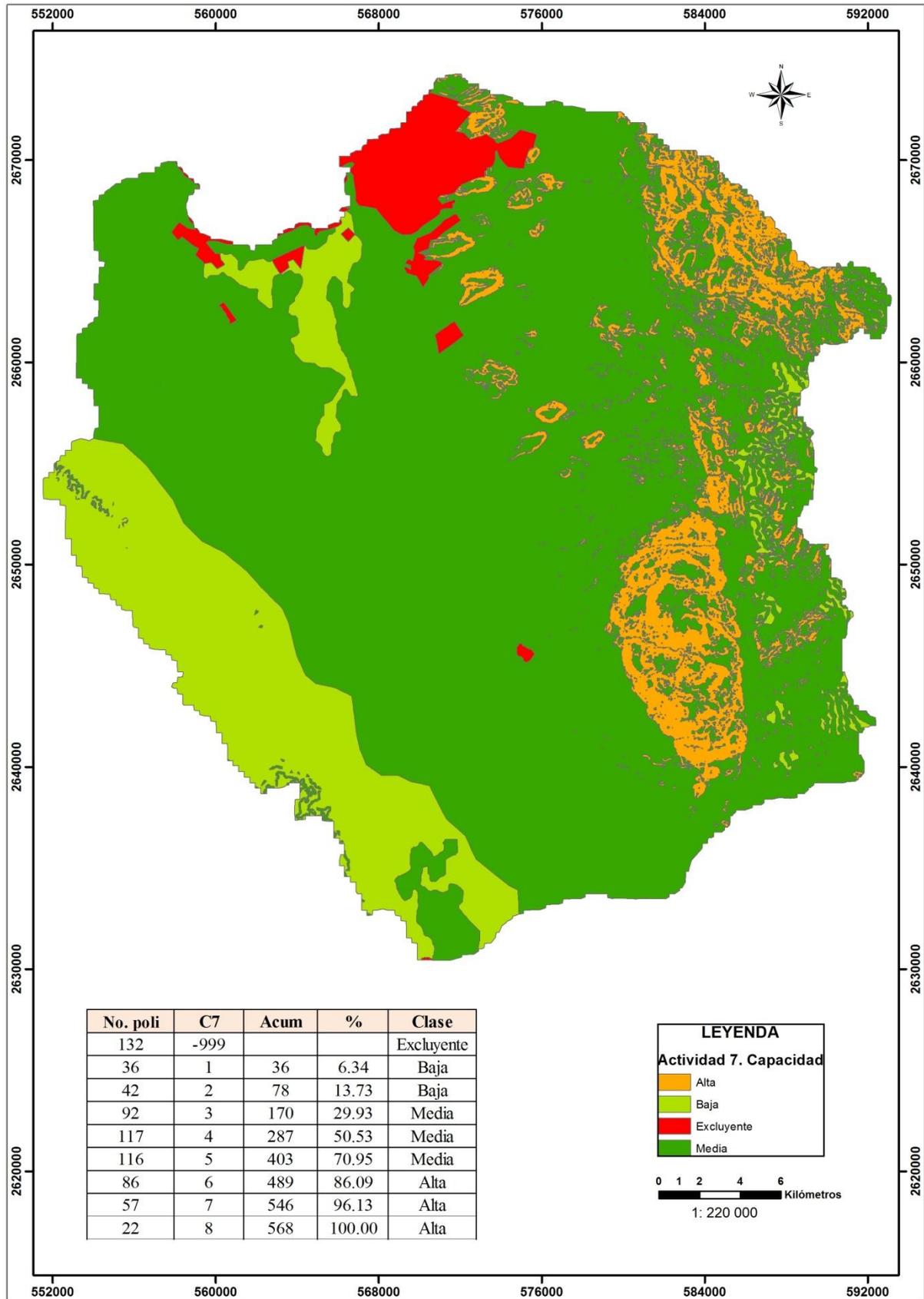


Figura 26. Capacidad para la actividad 7: Acotación de áreas al pastoreo.

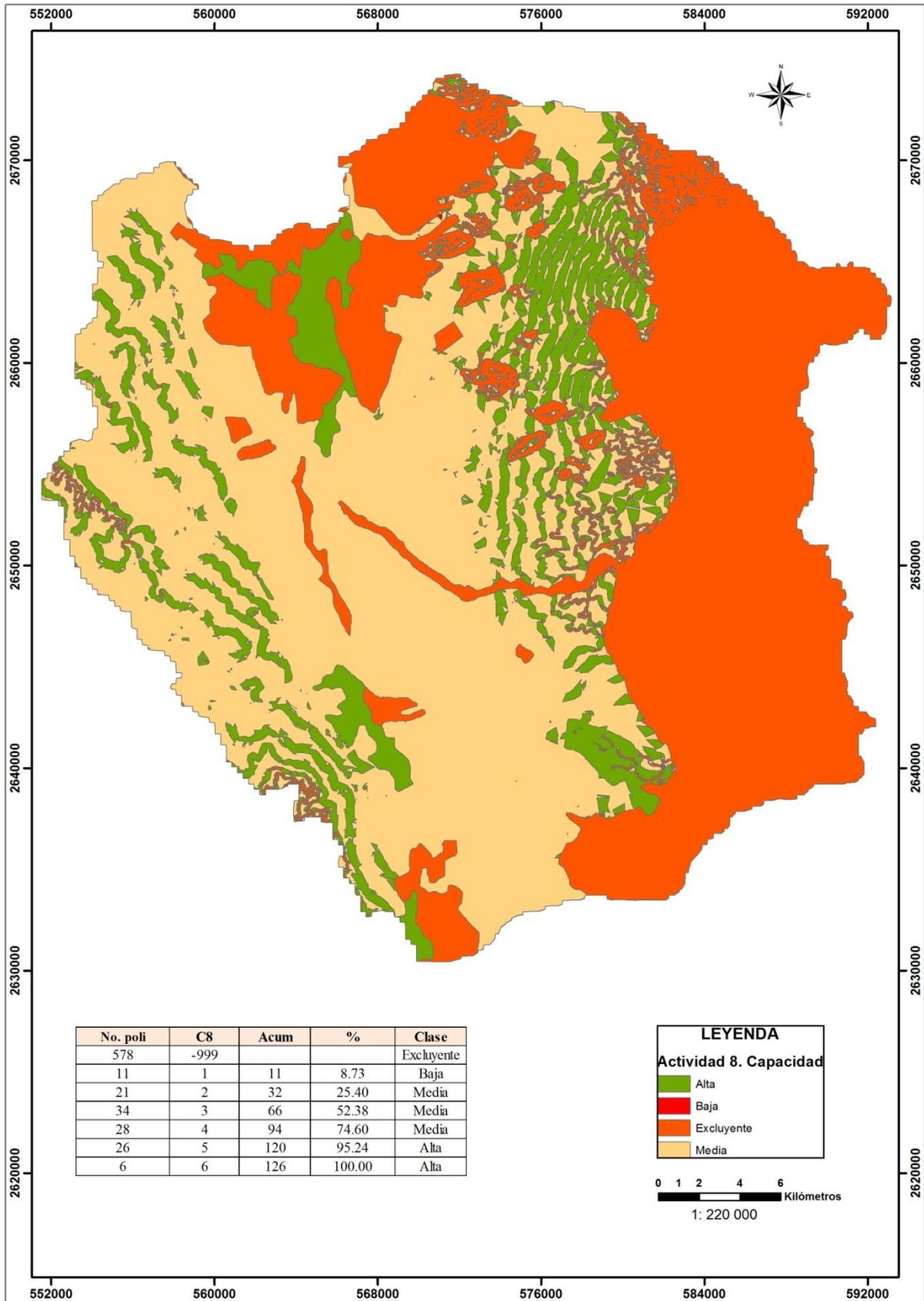


Figura 27. Capacidad para la actividad 8: Mantenimiento y mejora de matorrales.

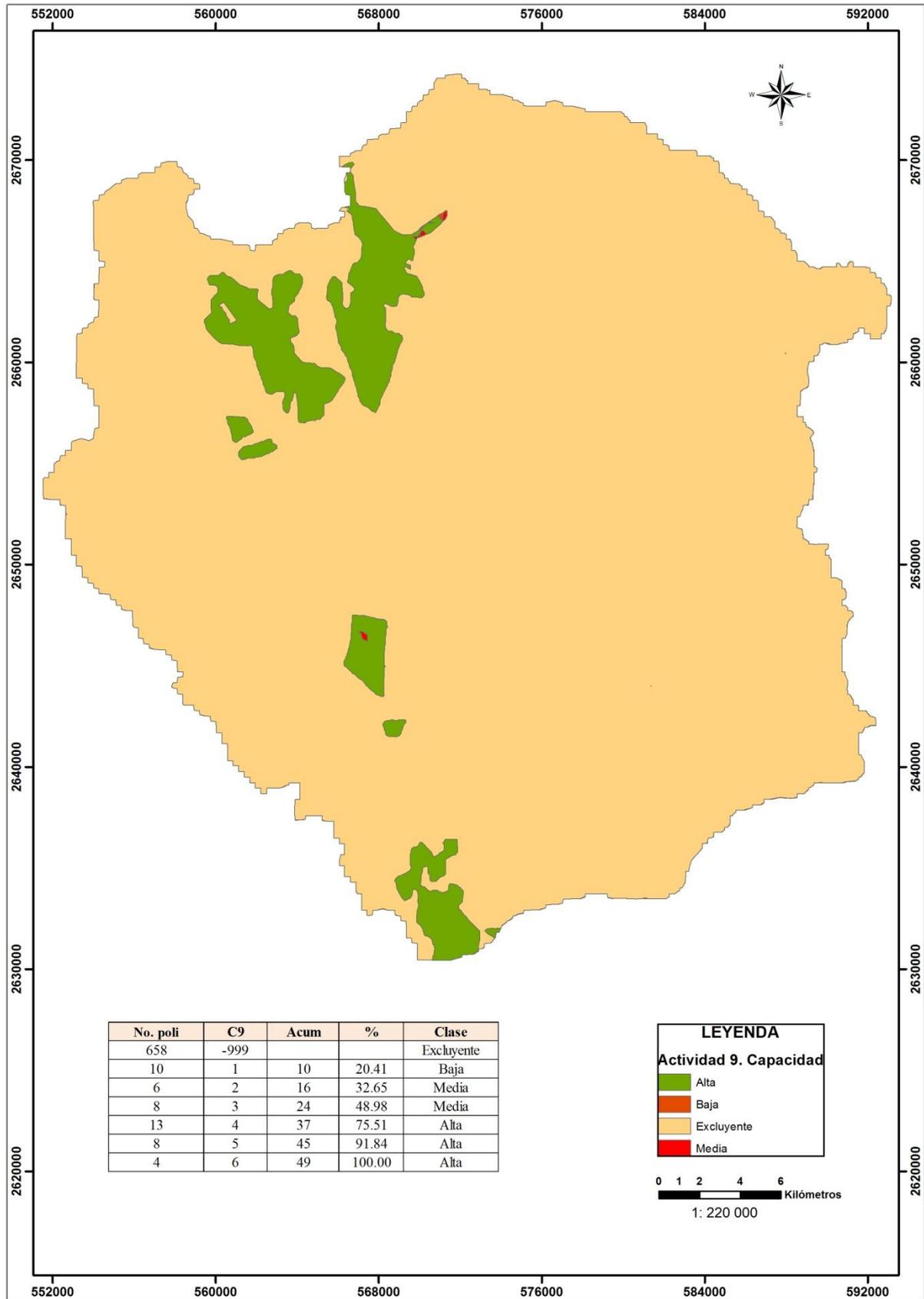


Figura 28. Capacidad para la actividad 9: Mantenimiento del uso agrícola.

2.6.5. Estudio del grado de conveniencia del medio para la realización de dichas actividades: matriz de grado de conveniencia

Las unidades territoriales y sus elementos constituyentes siempre se verán relativamente favorecidos por las actividades que se implanten de cara a conseguir los objetivos de la ordenación.

El beneficio que cada actividad aporte al territorio, en función de los distintos tipos en que se ha dividido dichos elementos, se ha cuantificado según los siguientes valores:

R_{jh}^i (valor del grado de conveniencia asignado al tipo h del elemento j ante la actividad i)

2 Actividad muy conveniente

1 Actividad conveniente

0 Actividad indiferente

-1 Actividad poco conveniente

-2 Actividad muy poco conveniente

$-\infty$ Actividad no conveniente

- El elemento “j” no influye en el desarrollo sobre el territorio de la actividad “i” o no existe capacidad para la actividad por lo que no se evalúa el grado de conveniencia.

La relación entre los elementos del medio y actividades de cara a evaluar el beneficios que producen las mismas, se vuelve a expresar por medio de una matriz de dimensión $m \times n$ donde $m=9$ actividades y $n=8$ elementos.

Tabla 38. Matriz de conveniencia del medio para realizar actividades

Elementos	Clase	Actividades								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Pendiente	0-3%	0	0	0	1	2	0	0	2	2
	3-12%	0	0	0	1	2	0	1	2	1
	12-24%	1	1	1	1	1	0	1	-	-
	24-30%	2	1	1	2	1	0	2	-	-
	30-40%	2	2	2	2	-	0	2	-	-
	>40%	2	2	2	2	-	0	2	-	-
Influencia Hídrica	SI	0	0	2	2	0	0	0	1	0
	NO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Usos del suelo	Matorral sarco- crasicaule	2	-	-	-	2	0	0	2	-
		2	-	-	-	1	0	1	2	-
	Mezquital	2	-	-	-	1	0	0	2	-
	Matorral sarcocaule	-1	-	-	1	-	0	0	0	-
	Pastizal	-1	2	-	-	2	2	0	-	-
	Selva baja caducifolia	-	-	-	2	2	0	2	-	-
	Vegetación halófila	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Zona urbana	-	-	2	2	-	0	-	-	-
	Cuerpo de agua	-1	-	-	-	-	0	2	-	2
	Riego	-1	-	-	-	-	0	2	-	2
Litología	Erosionable	1	2	0	1	1	0	-	-1	1
	Poco erosionable	0	1	0	0	0	0	0	0	0

Pérdidas de suelo	Ninguna o ligera <10	0	0	0	1	1	0	0	2	2
	Moderada 10-50	1	1	1	1	1	0	1	-1	-1
	Alta 50-100	2	2	2	2	-	0	2	-	-
	Muy alta >100	2	2	2	2	-	0	2	-	-
Propiedad del suelo	Propiedad Pública	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Urbana	1	1	0	0	0	0	0	0	1
Protección	Áreas protegidas	0	0	0	2	2	2	2	0	0
	Ninguna	1	0	0	1	1	0	0	0	0
Espesura de la cobertura arbórea	Defectuosa 40-80%	1	2	-	0	1	0	0	0	0
	Ralo < 40%	2	1	-	0	2	0	0	0	0
	Improductivo	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Actividades: 1. Repoblación forestal protectora; 2. Completar espesura en masas con espesura defectiva; 3. Hidrotecnias de corrección de cauces; 4. Restauración de riberas; 5. Repoblaciones para aumentar la biodiversidad; 6. Conservación de enclaves de interés; 7. Acotación de áreas al pastoreo; 8. Mantenimiento y mejora de matorrales; 9. Mantenimiento del uso agrícola.

El procedimiento considerado ha sido el de la sumatoria para pasar del conjunto de valores de una columna de la matriz a un valor escalar único que represente el grado de conveniencia de una determinada actividad en un recinto del medio.

El valor de la conveniencia de una actividad i en una unidad territorial homogénea es dado por la siguiente suma:

$$\sum_{j=1}^8 r_{jh}^i$$

Si alguno de los valores fuese $-\infty$, no se realizaría la suma al ser directamente inadmisibles la conveniencia de la actividad debido a alguno de los elementos del medio.

Utilizando el SIG, se ha realizado la superposición de las coberturas del medio calculándose en cada recinto obtenido, los valores del grado de conveniencia para cada una de las actuaciones propuestas.

Al llegar a esta fase se tiene, análogamente, el listado de los valores indicativos del grado de conveniencia de las actividades para el territorio.

Asimismo, se hace una clasificación de dichos valores en las siguientes clases

- Muy conveniente
- Conveniente
- Poco conveniente
- No conveniente o Inadmisibles

Los valores de Conveniencia del medio para realizar actividades obtenidas y el resultado gráfico de los mismos se presentan en las siguientes figuras

La conveniencia para la Actividad 3 es inadmisibles en toda su superficie, por lo que no se mostró en los resultados.

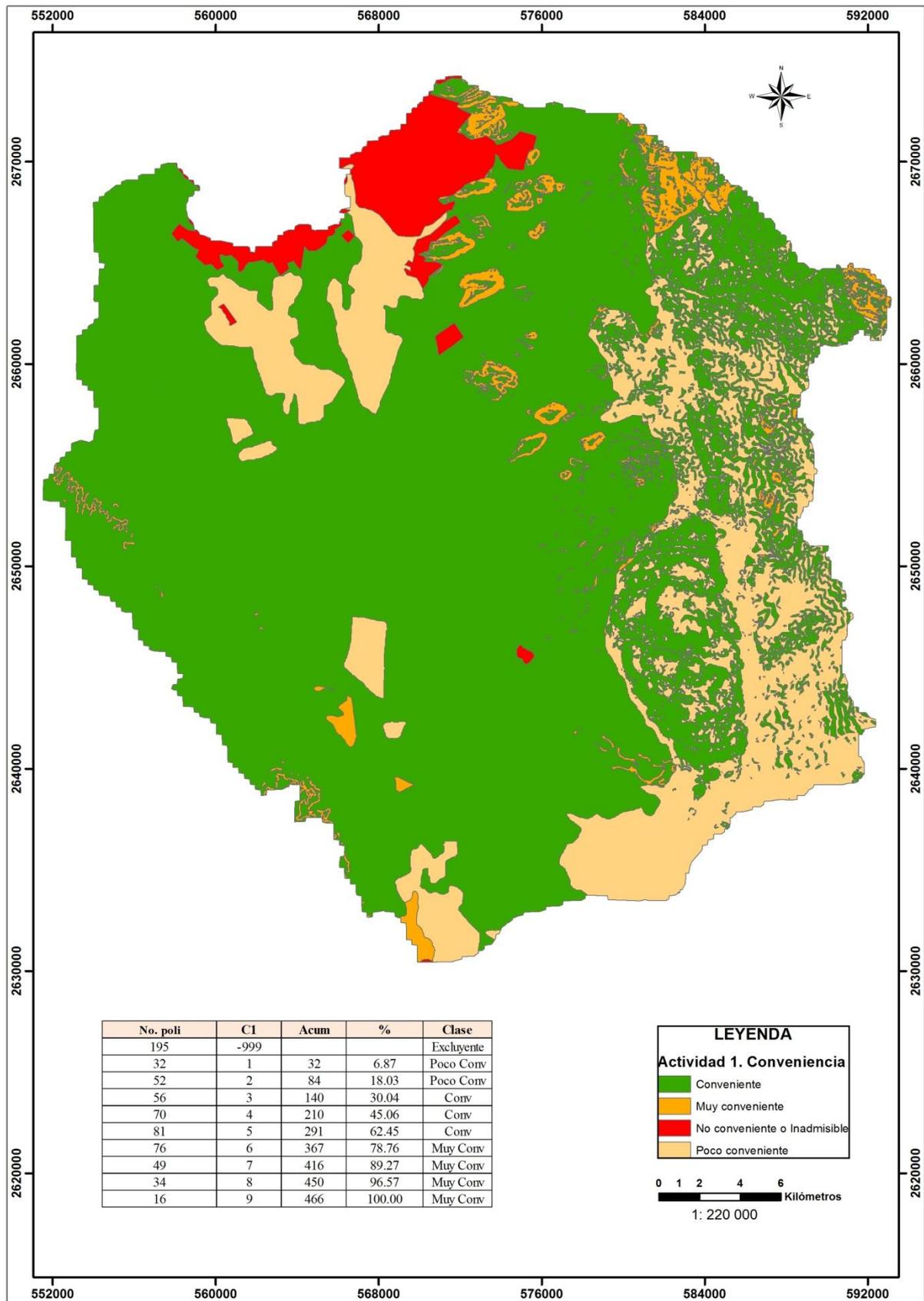


Figura 29. Conveniencia para la actividad 1: Repoblación forestal protectora.

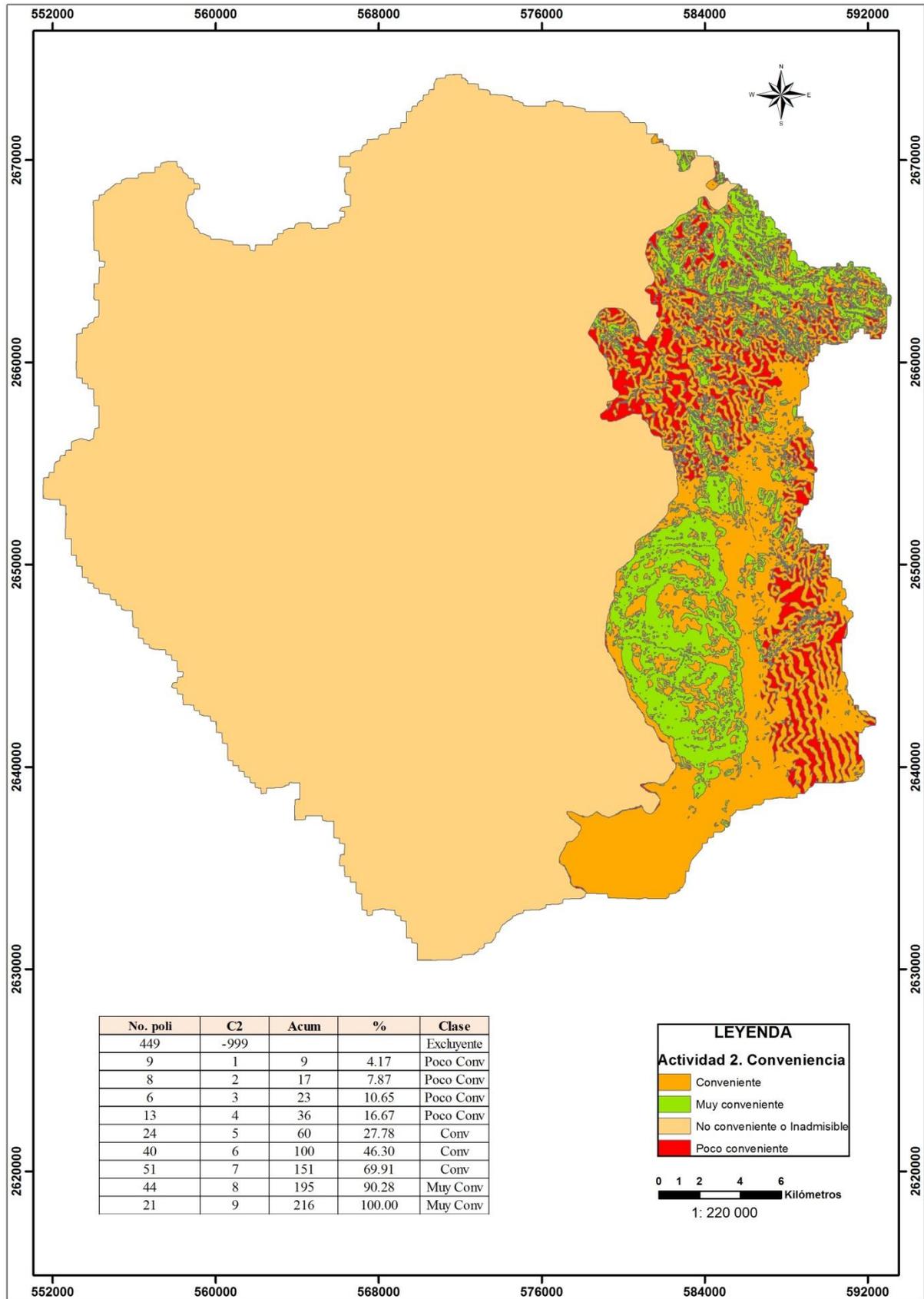


Figura 30. Conveniencia para la actividad 2: Completar espesura en masas con espesura defectiva.

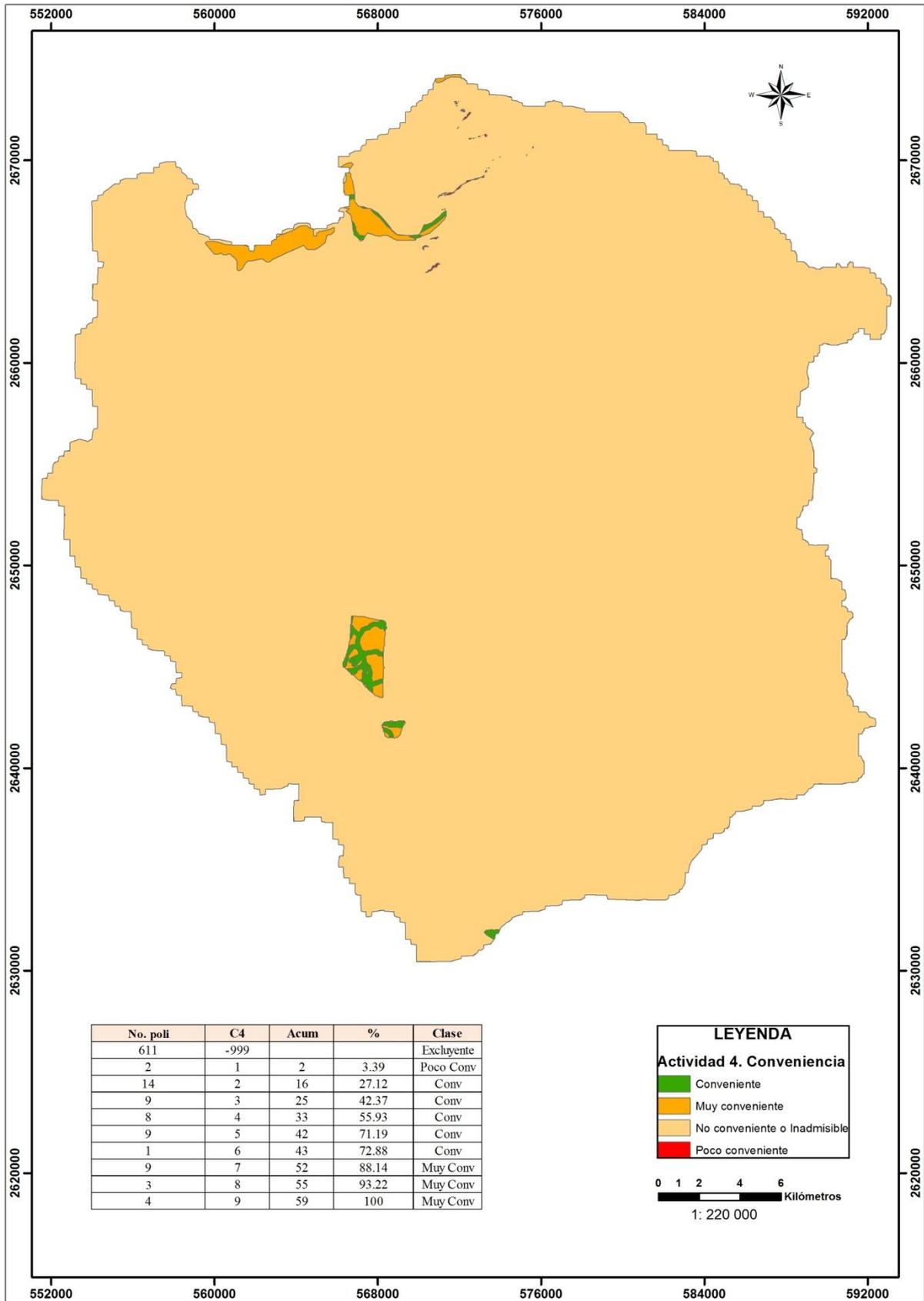


Figura 31. Conveniencia para la actividad 4: Restauración de riberas.

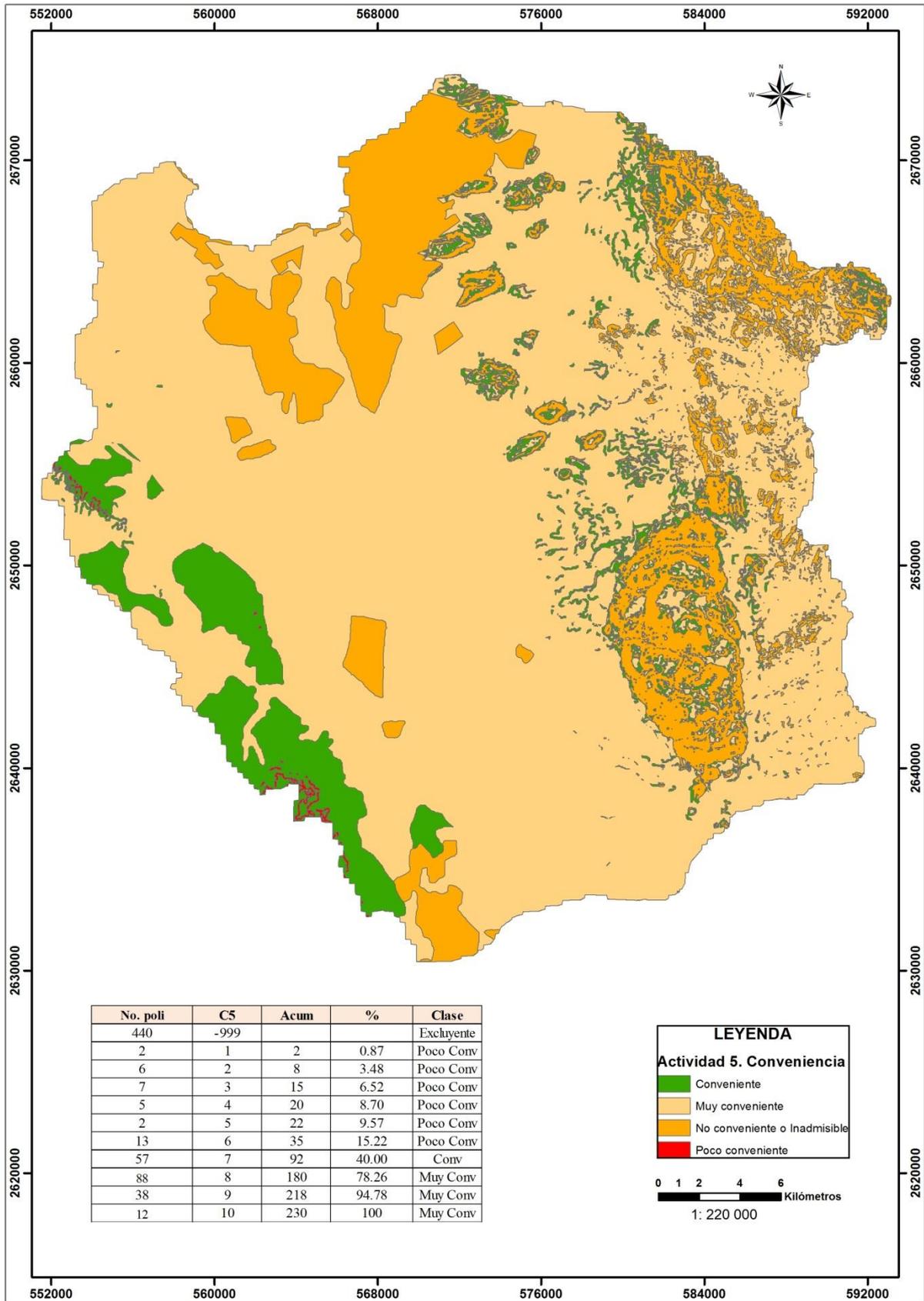


Figura 32. Conveniencia para la actividad 5: Repoblaciones para aumentar la biodiversidad.

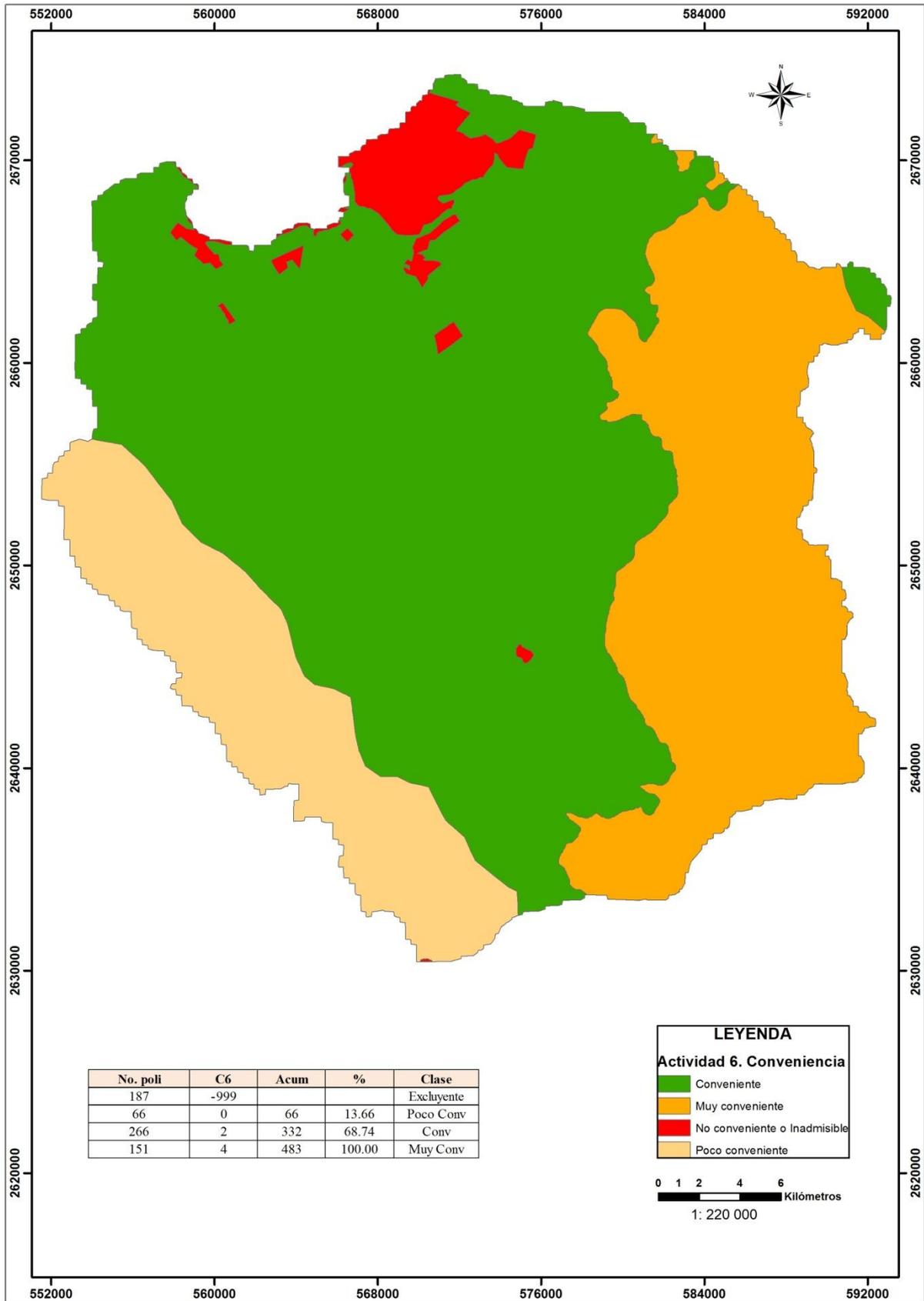


Figura 33. Conveniencia para la actividad 6: Conservación de enclaves de interés.

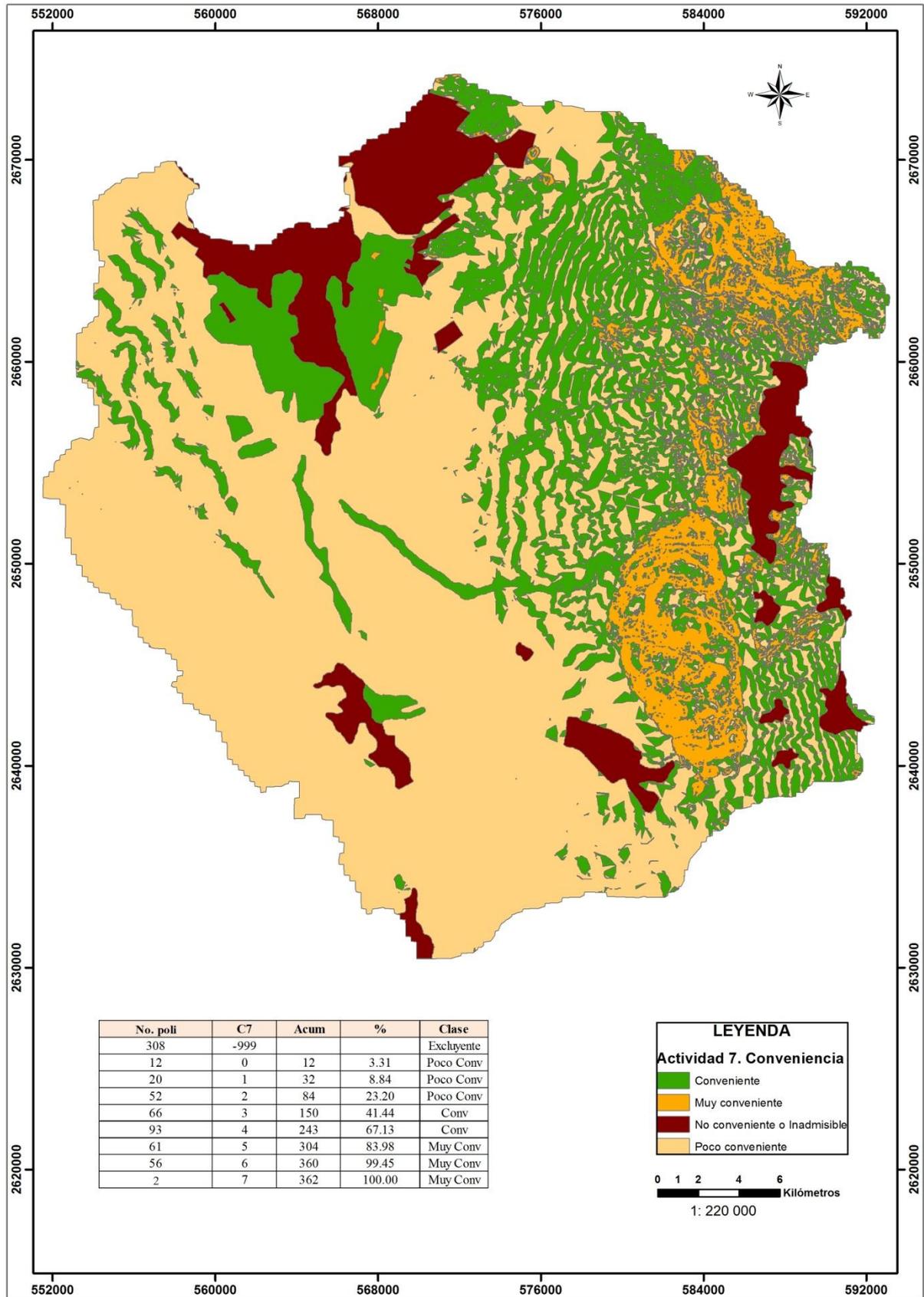


Figura 34. Conveniencia para la actividad 7: Acotación de áreas al pastoreo.

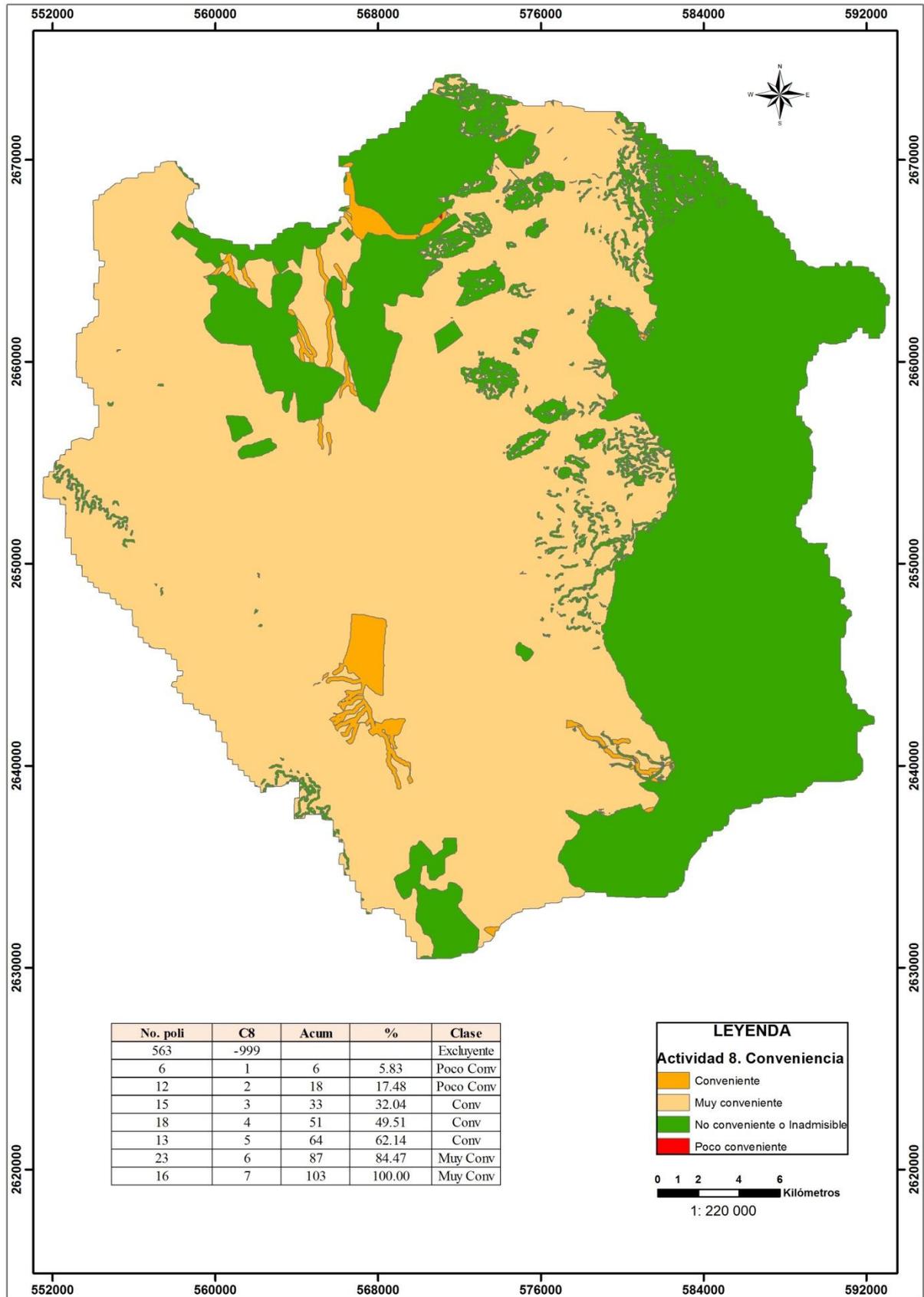


Figura 35. Conveniencia para la actividad 8: Mantenimiento y mejora de matorrales.

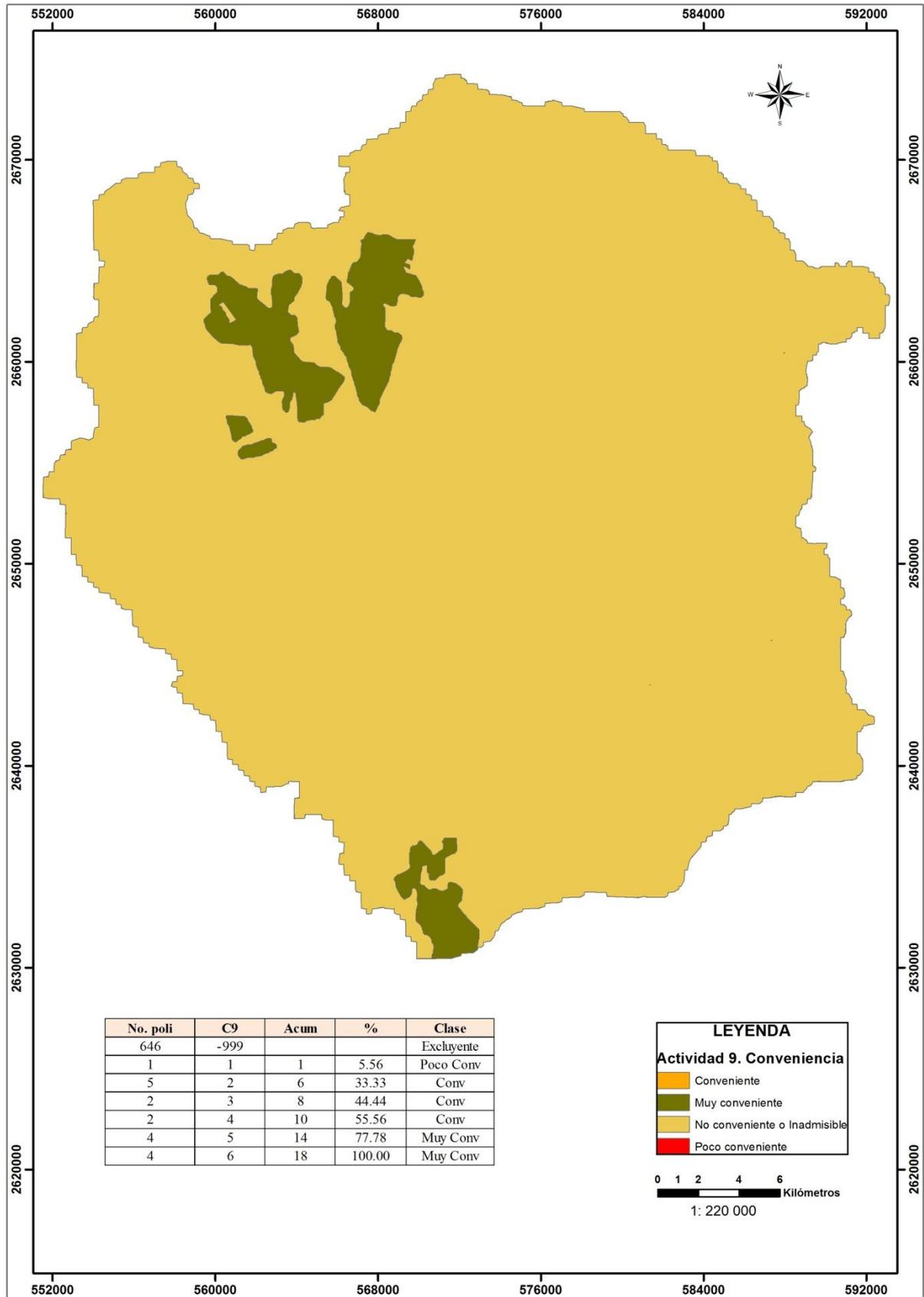


Figura 36. Conveniencia para la actividad 9: Mantenimiento del uso agrícola.

2.6.6. Adecuación del medio para la realización de actividades: matriz de adecuación

Una vez que se tiene la capacidad y el grado de conveniencia para cada unidad territorial homogénea, se engloban ambos conceptos en uno solo que se refiere a la aceptación de la actividad y al efecto que produce: Adecuación, representado de forma matricial de acuerdo a la siguiente tabla:

	Grado de Conveniencia			
CAPACIDAD	Muy conveniente	Conveniente	Indiferente Poco conveniente	No conveniente
Alta	Muy adecuado	Bastante adecuado	Medianamente adecuado	No adecuado
Media	Bastante adecuado	Medianamente adecuado	Poco adecuado	No adecuado
Baja	Medianamente adecuado	Poco adecuado	No adecuado	No adecuado
Excluyente	No adecuado	No adecuado	No adecuado	No adecuado

Utilizando esta tabla, y la superposición de las coberturas de capacidad y grado de conveniencia se ha determinado la adecuación global del territorio, expresada en cada unidad territorial homogénea, para cada actividad.

Sin embargo, para facilitar los resultados y hacerlos manejables, se ha reducido a tres el número de clases de adecuación agrupándolas de la siguiente manera:

Tabla 39. Clases de Adecuación establecidas

Clase	Adecuación
N.A	No Adecuado
MEDIA	Poco adecuado

	Medianamente adecuado
ALTA	Bastante adecuado Muy adecuado

Los resultados de la superposición de capas para conseguir el grado de adecuación de cada actividad, son representados en las figuras a continuación.

2.6.7. Relaciones entre actividades

En principio algunas actividades propuestas se excluyen mutuamente porque son incompatibles o porque el desarrollo de una actividad influye decisivamente en la otra. (ej: repoblación forestal excluye a conservación del uso agrícola), por el contrario hay actividades compatibles que se complementan y pueden realizarse al mismo tiempo en una misma zona (ej: repoblación forestal protectora e hidrotecnias de corrección de cauces).

Por tanto, es necesario analizar si las actividades propuestas son compatibles o no. Así se construye una matriz que enfrente actividad con actividad expresándose en cada casilla de la matriz la compatibilidad o incompatibilidad existente entre ambas actividades.

Tabla 40. Compatibilidad entre actividades

Actividades	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Repoblación forestal protectora	-	I	C	C	I	C	C	I	I
2. Completar espesura en mapas con espesura defectiva	I	-	C	C	C	C	C	I	I
3. Hidrotecnias de corrección de cauces	C	C	-	C	C	C	C	C	C
4. Restauración de riberas	C	C	C	-	C	C	C	I	I
5. Repoblaciones	I	C	C	C	-	C	C	C	I

para aumentar la biodiversidad									
6. Conservación de enclaves de interés	C	C	C	C	C	-	C	C	C
7. Acotación de áreas al pastoreo	C	C	C	C	C	C	-	I	C
8. Mantenimiento y mejora de matorrales	I	I	C	I	C	C	I	-	I
9. Mantenimiento del uso agrícola	I	I	C	I	I	C	C	I	-

Donde C=Compatible

I=Incompatible

2.6.8. Propuesta de actividades para optimizar los objetivos

2.6.8.1. Asignación de actividades

La asignación de actividades en la cuenca se ha establecido en función al mayor grado de adecuación que presenten y teniendo en cuenta que las actividades que coinciden en el territorio y que sean compatibles con este se puedan realizar todas a la vez. Los casos posibles son:

1. Que en el mismo polígono coincidan varias actividades adecuadas compatibles, en cuyo caso se pueden realizar todas ellas.
2. Que en el mismo polígono coincidan actividades adecuadas pero incompatibles, en cuyo caso se escogerá la de mayor grado de adecuación. Si sus grados de adecuación fuesen idénticos, es necesario establecer un criterio para decidir qué actividad se propone en tal polígono.

Para resolver este último caso, se van a tener en cuenta los siguientes caracteres del territorio, la pérdida de suelo potencial (modelo USLE) y el uso actual del suelo.

De este modo en los polígonos donde se tenga incompatibilidad de actividades, se analizará la pérdida potencial de suelo que proporciona el modelo USLE y, al compararla con la pérdida de suelo admisible o tolerable, si aquella fuese mayor, se optará por la actividad que proponga el uso de suelo que ofrezca mayor grado de protección al suelo y contribuya a la disminución de sus pérdidas.

Aplicando los criterios establecidos y superponiendo las coberturas de adecuación generadas para cada actividad, se obtienen los polígonos en los que coincide el grado de adecuación de las actividades compatibles.

2.6.8.2. Actividades propuestas

De acuerdo a la información obtenida hasta esta etapa, se presenta la adecuación para cada actividad de la cuenca de La Paz, indicada en la siguiente tabla:

Tabla 41. Superficies de adecuación para las actividades propuestas

Actividad	Adecuación	Superficie (km²)
1. Repoblación forestal protectora	Alta	199.19
	Media	951.61
2. Completar espesura en masas con espesura defectiva	Alta	106.92
	Media	201.58
3. Hidrotecnias de corrección de cauces	Alta	0.004
	Media	0.062
4. Restauración de riberas	Alta	0.52
	Media	0.088
5. Repoblaciones para aumentar la biodiversidad	Alta	893.17
	Media	89.41
6. Conservación de enclaves de interés	Alta	913.29
	Media	42.69
7. Acotación de áreas al pastoreo	Alta	118.009
	Media	828.02
8. Mantenimiento y mejora de matorrales	Alta	718.07
	Media	12.07
9. Mantenimiento del uso agrícola	Alta	57.68
	Media	0.008

Las actividades 3 (hidrotecnias de corrección en cauces) y 4 (Restauración de riberas), no son representadas gráficamente ni tomadas en cuenta, debido a los resultados de superposición en el SIG, las mismas que no son aptas para su implementación debido a que, para la actividad 3 no existen emplazamientos adecuados en los cauces de los arroyos y para la actividad 4, las riberas se encuentran sin erosión por formaciones de roca.

Las actividades que siendo compatibles coincidan en el mismo polígono, se realizarán a la vez. Como criterio de propuesta final se ha adoptado la clase de adecuación ALTA para la realización de cada actividad en la cuenca. Realizando la superposición con el SIG de las coberturas de adecuación de las actividades propuestas se obtienen las siguientes combinaciones posibles. Todas estas combinaciones son las que se muestran en la siguiente tabla y tienen su representación cartográfica en el Anejo III.

Tabla 42. Combinación de actividades compatibles con grado Alto de adecuación presentes en la cuenca

Actividades compatibles	Superficie (km²)
1	12.503
1 y 6	73.641
1 y 7	0.003
1, 6 y 7	113.051
2	0.004
2 y 6	0.001
2, 5 y 6	10.158
2, 6 y 7	3.402
3	0.004
4	0.011
4, 5 y 6	0.512
5	0.574
5 y 6	157.332
5, 6 y 7	0.126
5, 6 y 8	529.780
6	24.733
6 y 7	0.557
7	0.002
7 y 9	0.868
8	183.616
9	56.809
Sin actividad	41.605

CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos de esta investigación, son derivados de la aplicación de los métodos clásicos de ordenación de cuencas (USLE y Criterios de Mintegui) y de la metodología de ordenación según criterios de sostenibilidad (MOCS), a la cuenca de La Paz.

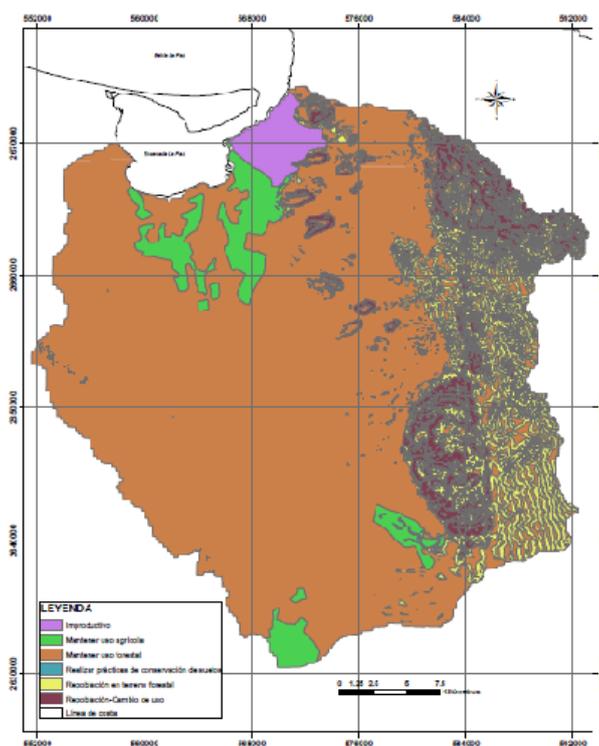
Las actividades propuestas por los métodos con los que se ha trabajado, se presentan en su proyección territorial mediante la correspondiente representación cartográfica obtenida del Sistema de Información Geográfico utilizado en todo el proceso.

Ha de tenerse en cuenta que las actividades promovidas por la metodología con criterios de sostenibilidad, son resultantes de la capacidad del medio para acogerlas y que, entre ellas, figuran algunas que no se han considerado en los métodos clásicos. Por tanto, no todos los métodos promueven las mismas actividades, ni tampoco tienen que coincidir necesariamente en términos cuantitativos (superficie en km²) ni geográficos (localización). Los resultados se presentan a continuación:

Tabla 43. Resultados de la ordenación según modelo USLE

Código	Uso futuro	Superficie (km²)
1	Mantener uso agrícola	63.07
2	Mantener uso forestal	890.42
3	Realizar prácticas de conservación de suelos	0.99
4	Repoblación en terreno forestal	140.24
5	Repoblación-Cambio de uso	90.42

6	Improductivo	36.86
TOTAL		1222

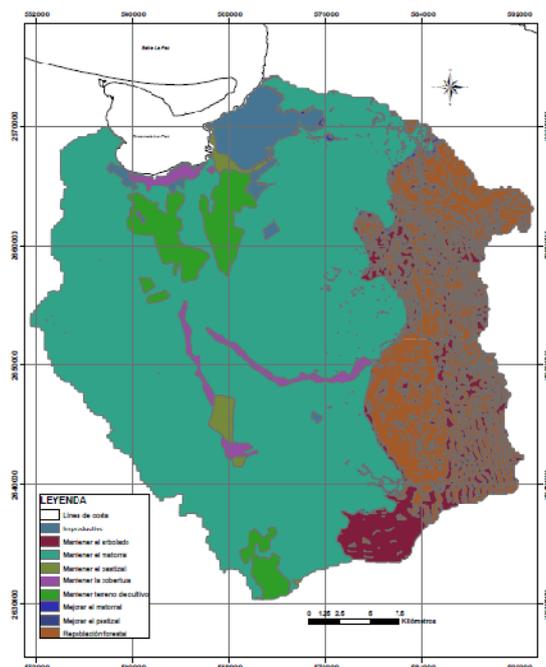


Mapa de Ordenación según USLE. Para mayor detalle del mismo, consultar ANEJO III.

Tabla 44. Resultados de la ordenación según criterios de Mintegui Aguirre (1990)

Código	Uso futuro	Superficie (km ²)
1	Conservar cubierta arbórea	104.43
2	Mantener el matorral	765.98
3	Mantener el pastizal	10.88
4	Mantener la cobertura	19.21
5	Conservar cultivos	57.63
6	Mejorar el matorral	5.97

7	Mejorar el pastizal	0.07
8	Repoblación forestal	204.40
999	Improductivo	53.33
TOTAL		1222

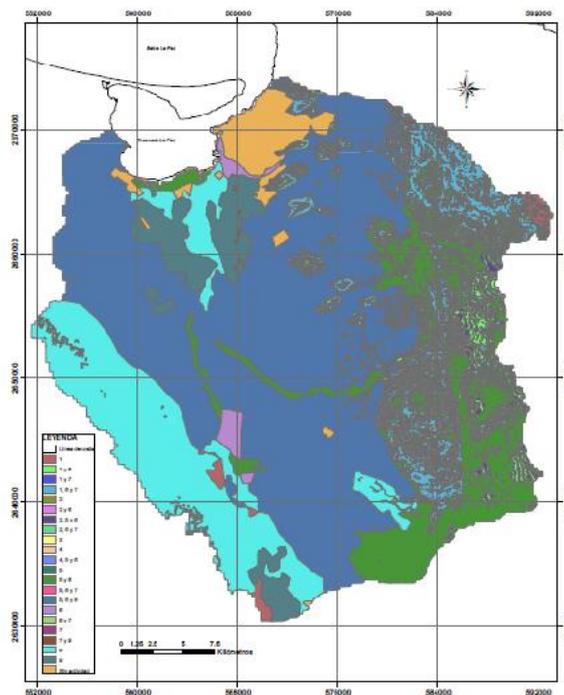


Mapa de Ordenación según criterios Mintegui. Para mayor detalle del mismo, consultar ANEJO III.

Tabla 45. Resultados de la ordenación según metodología con criterios de sostenibilidad

Actividades compatibles	Superficie (km ²)
1	12.503
1 y 6	73.641
1 y 7	0.003
1, 6 y 7	113.051

2	0.004
2 y 6	0.001
2, 5 y 6	10.158
2, 6 y 7	3.402
3	0.004
4	0.011
4, 5 y 6	0.512
5	0.574
5 y 6	157.332
5, 6 y 7	0.126
5, 6 y 8	529.780
6	24.733
6 y 7	0.557
7	0.002
7 y 9	0.868
8	183.616
9	56.809
Sin actividad	54.405
TOTAL	1222



Mapa de Ordenación con criterios de sostenibilidad. Para mayor detalle del mismo, consultar ANEJO III.

3.2. ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS SUPERFICIES DE ACTUACIÓN

Para realizar la comparación de los resultados obtenidos con los diferentes métodos de ordenación en la cuenca de La Paz, se han superpuesto cada una de las coberturas generadas con los diferentes métodos (Modelo USLE, Ordenación Agrohidrológica según criterios de Mintegui 1990 y Metodología con criterios de Sostenibilidad).

Al estar involucrado un modelo cartográfico de coincidencia superficial, en esta comparación no se han incluido las actividades 3 y 4 (hidrotecnias de corrección de cauces y repoblación de riberas) dado que las mismas no tuvieron un alto peso de representación cartográfica para este caso.

Estas superposiciones se pueden expresar en forma matricial enfrentando la cobertura de actuaciones según la metodología de sostenibilidad con cada una de las coberturas de actuaciones generadas con los otros métodos considerados.

3.2.1. Comparación Modelo USLE y MOCS

Los valores derivados de la superposición de ambas metodologías, donde la superficie se expresa en km², se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 46. Superficies de superposición Modelo USLE y Metodología de Ordenación con Criterios de Sostenibilidad (km²).

USLE	1. Mantener uso agrícola	2. Mantener uso forestal	3. Realizar prácticas de conservación de suelos	4. Repoblación en terreno forestal	5. Repoblación-Cambio de uso	Sin actuación
MOCS						
1	2.3136	5.4161	0.5898	1.9301	2.2480	0.0044
1 y 6	0.0007	26.2979	0.0192	45.9339	1.3383	0.0484
1 y 7				0.0022		0.0005
1, 6 y 7	0.0000	0.0644	0.0573	30.1521	82.6775	0.0999
1. Repoblación Forestal Protectora	2.3143	31.7783	0.6664	78.0182	86.2637	0.1531
2				0.0000		
2 y 6		0.0002		0.0002		
2, 5 y 6		9.8290		0.3288		
2, 6 y 7		0.0002		0.1276	3.2739	
2. Completar espesura en masas con espesura defectiva	0.0000	9.8294	0.0000	0.4566	3.2739	0.0000

5		0.3561		0.2178		
5 y 6	0.5651	110.7513	0.0344	45.9291		0.0502
5, 6 y 7		0.1249		0.0016		
5,6 y 8	1.7142	527.7139	0.0016	0.0519		0.0000
5. Repoblaciones para aumentar la biodiversidad	2.2793	638.9462	0.0360	46.2003	0.0000	0.0502
6	3.1392	7.5767	0.0055	13.5817	0.2571	0.0587
6 y 7				0.5350	0.0221	
6. Conservación de enclaves	3.1392	7.5767	0.0055	14.1167	0.2792	0.0587
7					0.0021	0.0001
7 y 9	0.7216	0.1469				
7. Acotación al pastoreo	0.7216	0.1469	0.0000	0.0000	0.0021	0.0001
8	11.4066	172.1815	0.0158	0.0047		
8. Mantenimiento y mejora de matorrales	11.4066	172.1815	0.0158	0.0047	0.0000	0.0000
9	36.4630	20.2991				0.0075
9. Mantenimiento uso agrícola	36.4630	20.2991	0.0000	0.0000	0.0000	0.0075
Sin actuación	6.7267	9.0147	0.2621	2.0020	0.0410	23.4886
TOTALES	63.0507	889.7728	0.9858	140.7986	89.8600	23.7581

A partir del cuadro anterior se observa cómo cada una de las celdas contiene las superficies coincidentes en km² de cada actividad para cada uno de los dos métodos que se comparan. Los solapes establecidos son los siguientes:

1. Repoblación forestal protectora (en las combinaciones 1, 16, 17, 167, de MOCS) con 5 (Repoblación-cambio de uso) y 4 (Repoblación en terreno forestal) de USLE. Las superficies en km² de coincidencia son las siguientes:

Actividad 1 (MOCS) con 5 (USLE): **86.2637**

Actividad 1 (MOCS) con 4 (USLE): **78.0182**

2. Completar espesura en masas defectivas (en las combinaciones, 2, 26, 256, y 267 de MOCS) con 2 (Mantener uso forestal) y 5 (Repoblación-cambio de uso) de USLE. Las superficies en km² de coincidencia son las siguientes:

Actividad 2 (MOCS) con 2 (USLE): **9.8294**

Actividad 2 (MOCS) con 5 (USLE): **3.2739**

3. Repoblaciones para aumentar la biodiversidad (en las combinaciones, 5, 56, 567, 568 de MOCS) con 2 (Mantener uso forestal) y 4 (Repoblación en terreno forestal) de USLE. Las superficies en km² de coincidencia son las siguientes:

Actividad 5 (MOCS) con 2 (USLE): **638.9462**

Actividad 5 (MOCS) con 4 (USLE): **46.2003**

4. Conservación de enclaves de interés (en las combinaciones 6 y 67 de MOCS) con 4 (Repoblación en terreno forestal) y 2 (Mantener uso forestal) de USLE. Las superficies en km² de coincidencia son las siguientes:

Actividad 6 (MOCS) con 4 (USLE): **14.1167**

Actividad 6 (MOCS) con 2 (USLE): **7.5767**

5. Acotación al pastoreo (en las combinaciones, 7 y 79 de MOCS) con 1 (Mantener uso agrícola) y 2 (Mantener uso forestal) de USLE. Las superficies en km² de coincidencia son las siguientes:

Actividad 7 (MOCS) con 1 (USLE): **0.7216**

Actividad 7 (MOCS) con 2 (USLE): **0.1469**

6. Mantenimiento y mejora de matorrales (actividad 8 de MOCS) con 1 (Mantener uso agrícola) y 2 (Mantener uso forestal) de USLE. Las superficies en km² de coincidencia son las siguientes:

Actividad 8 (MOCS) con 1 (USLE): **11.4066**

Actividad 8 (MOCS) con 2 (USLE): **172.1815**

7. Mantenimiento de uso agrícola (actividad 9 de MOCS) con 1 (Mantener uso agrícola) y 2 (Mantener uso forestal) de USLE. Las superficies en km² de coincidencia son las siguientes:

Actividad 9 (MOCS) con 1 (USLE): **36.4630**

Actividad 9 (MOCS) con 2 (USLE): **20.2991**

3.2.2. Comparación ordenación según criterios de Mintegui (1990) y MOCS

Se presenta a continuación la superposición de ambos métodos en la siguiente tabla:

Tabla 47. Superficies de superposición Metodología según criterios de Mintegui y Metodología de Ordenación con Criterios de Sostenibilidad (km²).

MINTEGUI	Conservar cubierta arbórea	Mantener el matorral	Mantener el pastizal	Mantener la cobertura	Conservar cultivos	Mejorar el matorral	Mejorar el pastizal	Replaci n forestal	Improdu ctivo
MOCS									
1	0.0048	7.8938				0.7546		3.8488	
1 y 6	0.6160	25.7999				0.0745		47.1480	
1 y 7						0.0026			
1, 6 y 7	0.0004	18.7223	0.0013	0.0804		4.0078		90.2389	
1. Replaci n Forestal Protectora	0.6212	52.4160	0.0013	0.0804	0.0000	4.8395	0.0000	141.2357	0.0000
2								0.0000	
2 y 6	0.0002							0.0002	
2, 5 y 6	9.8290							0.3288	
2, 6 y 7	0.0002								
2. Completar espesura en masas con espesura defectiva	9.8294	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.3290	0.0000
5	0.3554	0.0008				0.0090		0.2088	
5 y 6	92.9861	0.0906	0.0001	18.2446		0.9071		45.1015	
5, 6 y 7			0.0016	0.1249					
5,6 y 8		529.7201				0.0582		0.0002	

5. Repoblaciones para aumentar la biodiversidad	93.3415	529.8114	0.0017	18.3695	0.0000	0.9743	0.0000	45.3106	0.0000
6	0.6357	0.0144	10.3818			0.0001	0.0380	13.5491	
6 y 7		0.0075		0.0146				0.5350	
6. Conservación de enclaves	0.6357	0.0219	10.3818	0.0146	0.0000	0.0001	0.0380	14.0841	0.0000
7		0.0022							
7 y 9					0.8685				
7. Acotación al pastoreo	0.0000	0.0022	0.0000	0.0000	0.8685	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
8		183.5954				0.0206			
8. Mantenimiento y mejora de matorrales	0.0000	183.5954	0.0000	0.0000	0.0000	0.0206	0.0000	0.0000	0.0000
9					56.7621				
9. Mantenimiento a uso agrícola	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	56.7621	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Sin actuación	0.0033	0.1371	0.5000	0.2319		0.0733	0.0176	0.0420	40.5299
TOTALES (km²)	104.4311	765.9839	10.8848	18.6964	57.6306	5.9078	0.0556	155.6910	40.5299

Las coincidencias de la superposición de los mapas de ambas metodologías comparadas son las siguientes:

1. La Repoblación Forestal Protectora (en las combinaciones 1, 16 y 167 de MOCS) coincide en su mayoría con la actuación 8 (Repoblación Forestal) de la metodología de Mintegui y además coincide con 2 (Mantener matorral).

2. Completar espesura en masas con espesura defectiva (combinaciones en 26, 256 y 267 de MOCS) coinciden respectivamente en su mayoría con 1 (Conservar cubierta arbórea) de la metodología de Mintegui.

3. Las Repoblaciones para aumentar la biodiversidad en (5, 56, 567 y 568 de MOCS) coinciden sobre todo con 2 (Mantener matorral) de la Metodología de Mintegui.

4. Conservación de enclaves de interés (6 y 67 de MOCS) coincide en su mayoría con 8 (Repoblación Forestal) y además coincide con 3 (Mantener pastizal).

5. Acotación al pastoreo (7 y 79 de MOCS) presenta poca coincidencia con las actuaciones de la metodología de Mintegui.

6. Mantenimiento y mejora de matorrales (8 de MOCS) coincide sobre todo con 2 (Mejorar el matorral) de la metodología de Mintegui.

7. El Mantenimiento del uso agrícola (9 de MOCS) coinciden en gran mayoría con 5 (Conservar cultivos) del método de criterios de Mintegui.

3.2.3. Comparación ordenación según criterios de Mintegui (1990) y modelo USLE

Con la superposición de las coberturas de ordenación de la cuenca referentes a ambas metodologías, se tiene como resultado la siguiente tabla, en la cual se muestran las superficies (en km²) destinadas a cada clasificación de coberturas:

Tabla 48. Superficies de superposición Metodología según criterios de Mintegui (1990) y Modelo USLE (km²)

USLE	1. Mantener uso agrícola	2. Mantener uso forestal	3. Realizar prácticas de conservación de suelos	4. Repoblación en terreno forestal	5. Repoblación- Cambio de uso	6. Sin actuación
MINTEGUI						
Conservar cubierta arbórea	0.053	104.054			0.324	
Mantener el matorral	15.444	731.259			18.879	0.403
Mantener el pastizal	3.411	7.409				0.060
Mantener la cobertura	0.575	18.578		0.003	0.055	
Conservar cultivos	37.185	20.446				
Mejorar el matorral			0.721	3.097	1.935	0.155
Mejorar el pastizal			0.024	0.046		

Repoblación forestal		0.000	0.013	135.720	68.667	0.002
Improductivo		8.539	0.229	1.364	0.568	29.829
TOTALES	56.667	890.284	0.987	140.230	90.428	30.449

Observando el cuadro anterior se establecen los siguientes solapes:

1. Para la Actividad 1 (Mantener uso agrícola) del modelo USLE, existe una mayor superficie de coincidencia con las actividades 5 (Conservar cultivos), 2 (Mantener el matorral) de Mintegui.

2. La coincidencia entre la Actividad 2 (Mantener uso forestal) de USLE con la actividad 2 (Mantener matorral) de Mintegui, es la mayor entre la comparación con otras actividades de la metodología de Mintegui, así también, pero en menor proporción, la actividad 2 de USLE coincide con la actividad 1 (Conservar cubierta arbórea) de Mintegui.

3. Respecto a la coincidencia de la actividad 3 (Realizar prácticas de conservación de suelos) de USLE, ésta escasamente coincide con alguna de las actividades de la metodología de Mintegui.

4. La coincidencia mayoritaria entre la actividad 4 (Repoblación en terreno forestal) de USLE, se presenta con la actividad 8 (Repoblación forestal) de la metodología de Mintegui.

5. La actividad 5 (Repoblación-cambio de uso) de USLE coincide con la actividad 8 (Repoblación forestal) de la metodología de Mintegui. En menor superficie, pero también coincidente, se encuentra la actividad 2 (Mantener el matorral) de Mintegui.

3.3. ESTUDIO CUANTITATIVO DE LAS COINCIDENCIAS DE LOS MÉTODOS: CÁLCULO DEL ÍNDICE DE KAPPA

Con el objetivo de realizar un análisis cuantitativo de los distintos métodos de ordenación considerados, se efectúa una agrupación para las actividades de cada uno de los métodos en bloques de actuación similares.

Se han considerado los siguientes bloques para establecer correspondencias entre actividades de los métodos.

Tabla 49. Bloques de actuaciones asimilables entre Metodologías

Bloques	Metodología Sostenibilidad	Método USLE
Repoblaciones	1	4+5
Mantener/ mejorar uso	2+4+5+8	2+3
Mantenimiento del uso agrícola	9	1
Conservación de enclaves	6	*
Acotación al pastoreo	7	*
Improductivo	999	6

Bloques	Metodología Sostenibilidad	Metodología de Criterios Mintegui
Repoblaciones	1	8
Mantener/ mejorar uso	2+4+5+8	1+2+3+4+6+7

Mantenimiento del uso agrícola	9	5
Conservación de enclaves	6	*
Acotación al pastoreo	7	*
Improductivo	999	999

Bloques	Método USLE	Metodología de Criterios Mintegui
Replantaciones	4+5	8
Mantener/ mejorar uso	2+3	1+2+3+4+6+7
Mantenimiento del uso agrícola	1	5
Improductivo	6	999

*Significa que no hay una propuesta de actuación para este bloque.

Posterior a la clasificación de las actividades de cada metodología en los bloques comparativos, se efectuó la creación de matrices cuadradas que enfrenten los bloques y recojan las superficies de coincidencia para cada método con la metodología propuesta. Las tablas resultantes son las siguientes:

Tabla 50. Comparación MOCS con USLE (en km²)

USLE	Repoblaciones	Mantener/ mejorar uso	Mantenimiento del uso agrícola	Conservación de enclaves	Acotación al pastoreo	Improductivo	Totales
MOCS							
Replantación Protectora	51.45	32.32	2.31	0.00	0.00	0.05	86.14
Mantener/ mejorar uso	46.53	821.49	13.70	0.00	0.00	0.36	882.07

Mantenimiento del uso agrícola	0.00	20.30	36.46	0.00	0.00	0.00	56.76
Conservación de enclaves	17.80	7.58	3.14	0.00	0.00	0.06	28.58
Acotación al pastoreo	112.83	0.30	0.72	0.00	0.00	0.10	113.96
Improductivo	2.04	9.28	6.73	0.00	0.00	36.29	54.34
Totales	230.66	891.27	63.06	0.00	0.00	24.06	1222

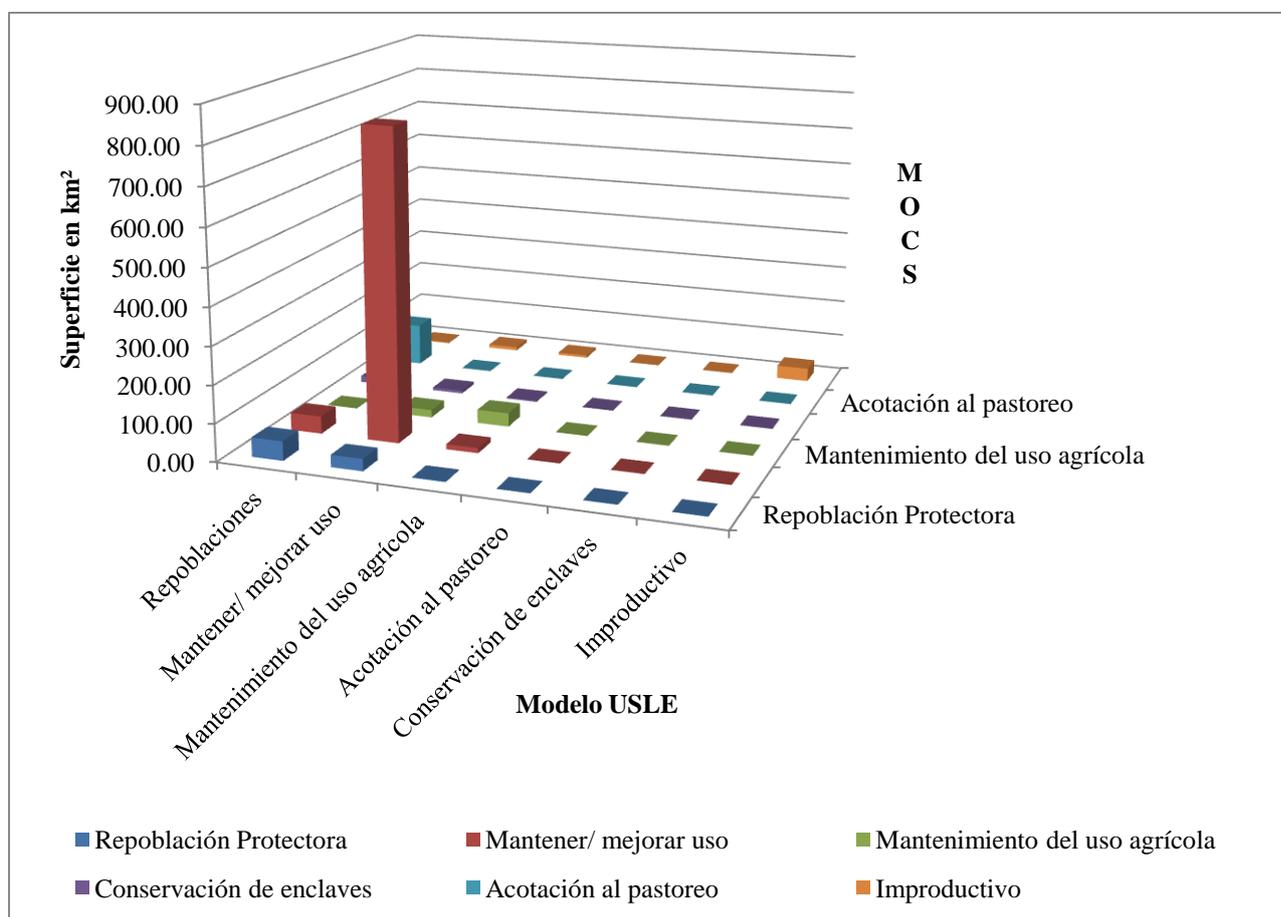


Tabla 51. Comparación MOCS con Metodología con criterios de Mintegui (1990)(km²)

Mintegui	Repl aciones	Mantener/ mejorar uso	Mantenimiento del uso agrícola	Conservación de enclaves	Acotación al pastoreo	Improd uctivo	Totales
MOCS							
Repl ación Protectora	51.00	35.14	0.00	0.00	0.00	0.00	86.14
Mantener/ mejorar uso	45.64	836.47	0.00	0.00	0.00	0.00	882.11
Mantenimiento del uso agrícola	0.00	0.00	56.76	0.00	0.00	0.00	56.76
Conservación de enclaves	17.49	11.09	0.00	0.00	0.00	0.00	28.58
Acotación al pastoreo	90.24	22.82	0.87	0.00	0.00	0.00	113.92
Improductivo	0.04	0.96	0.00	0.00	0.00	53.33	54.33
Totales	204.40	906.48	57.63	0.00	0.00	40.53	1222

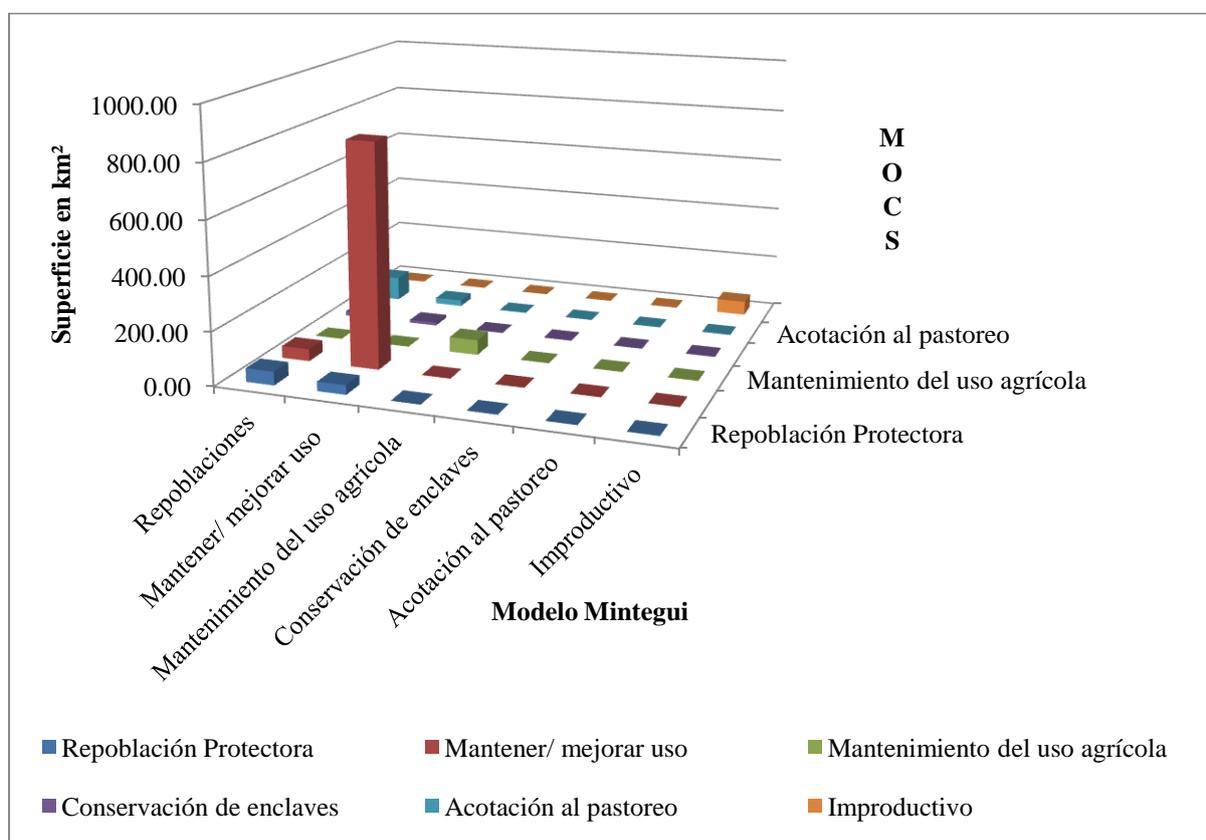
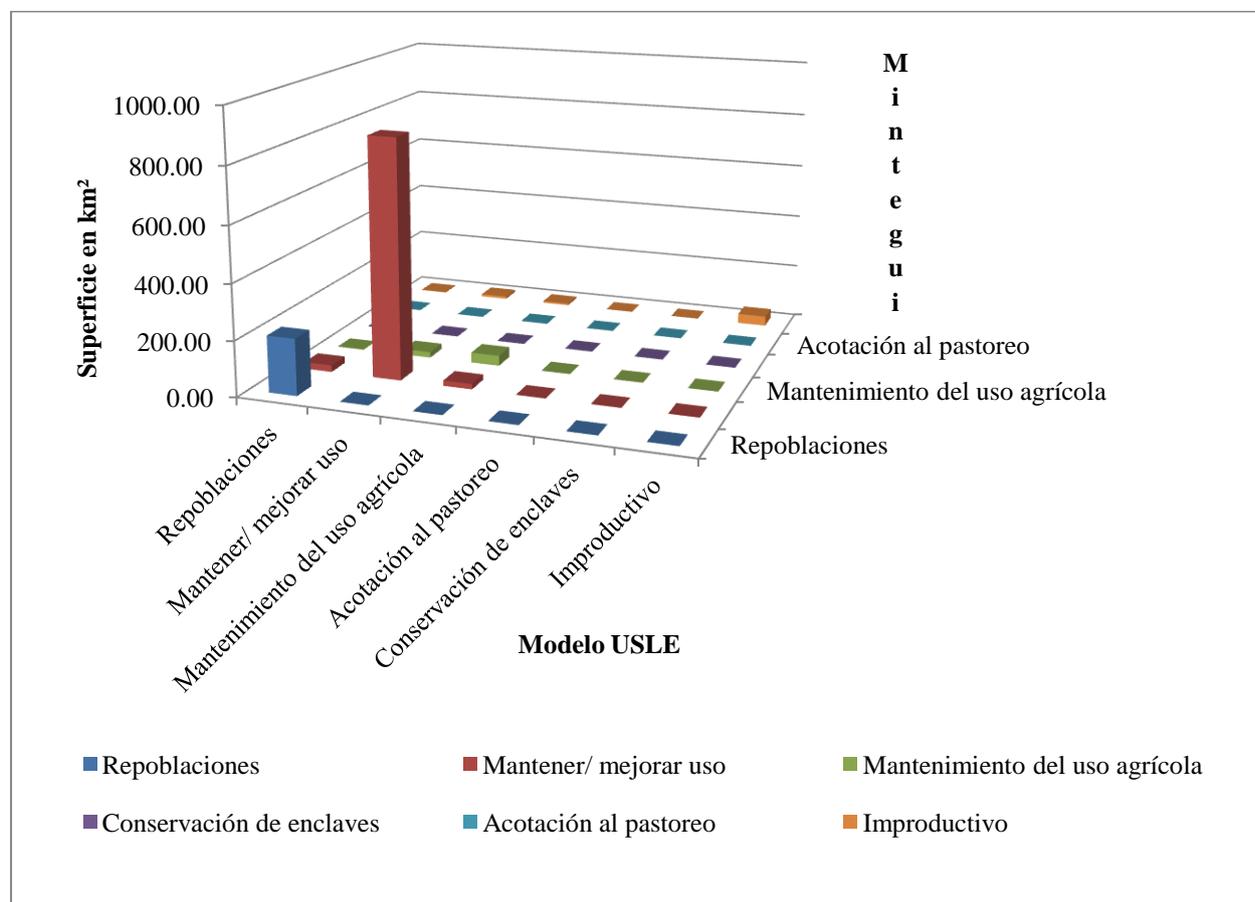


Tabla 52. Comparación Método USLE con Metodología con criterios de Mintegui (1990)(km²)

Mintegui	Repoblaciones	Mantener/ mejorar uso	Mantenimiento del uso agrícola	Acotación al pastoreo	Conservación de enclaves	Improductivo	Totales
USLE							
Repoblaciones	204.39	24.34	0.00	0.00	0.00	1.93	230.66
Mantener/ mejorar uso	0.01	862.04	20.45	0.00	0.00	8.77	891.27
Mantenimiento del uso agrícola	0.00	19.48	37.18	0.00	0.00	6.39	63.06
Acotación al pastoreo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Conservación de enclaves	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Improductivo	0.00	0.62	0.00	0.00	0.00	36.24	36.85
Totales	204.40	906.48	57.63	0.00	0.00	53.33	1222



De la matriz de comparación de MOCS con el modelo USLE se puede observar que:

Los grupos de actividades que aparecen por filas corresponden a la metodología de ordenación con criterios de sostenibilidad MOCS, de manera que el total de la primera fila son 86.14 km² propuestos para repoblación protectora, a continuación se encuentran 882.07 km² destinados a mantener y mejorar los usos del suelo y así sucesivamente.

De otra forma, los totales por columnas indican las superficies de actuación del otro método que se compara. La primera cifra (230.66 km²) corresponde a la superficie destinada a la repoblación con el método USLE. Las cifras de la diagonal principal resaltadas expresan la superficie de coincidencia de actuaciones homólogas de los dos métodos.

Análogamente ocurre con la actividad mantener y mejorar el uso, puesto que MOCS propone para dicha actividad 882.07 km² y el modelo USLE asigna 891.27 km². Sin embargo, existe un alto grado de coincidencia de 11,843 km². En cuanto a mantener el uso agrícola, la MOCS asigna 56.76 km² mientras que USLE asigna a esta actividad 63.06 km².

Estos razonamientos se pueden aplicar también a la comparación de la metodología con los criterios de Mintegui. Se puede decir que existe una gran coincidencia entre las actividades propuestas por ambos métodos. Si bien es cierto, al igual que en el caso anterior, que las superficies destinadas a la repoblación protectora y la mejora de usos son mayores en la MOCS que las otras metodologías. Los valores totales de ambas metodologías no varían en gran manera, a excepción de las actividades que si son contempladas por MOCS y no por las otras metodologías, como la conservación de enclaves.

En la tabla de comparación de las metodologías USLE y la de criterios de Mintegui, las filas corresponden a las superficies de actuación propuestas por el modelo USLE y las columnas corresponden a la propuesta de la metodología con criterios de Mintegui. Así, respecto a la actividad de repoblación, el total de la actuación para el modelo USLE es de 230.66 km² y 204.40 km² para la metodología de Mintegui, la superficie de coincidencia de ambas metodologías es de 204.39 km². Con correspondencia a estos resultados, la coincidencia es muy alta y el valor de la metodología de Mintegui es mayor

debido a que USLE considera la actividad de repoblación, dividida en dos actividades diferentes, por tanto se segrega el total de superficie destinada a repoblación, mientras que Mintegui integra en una sola actividad la repoblación.

Otra coincidencia alta (862.04 km²) es la de las actividades correspondientes a Mantener/mejorar el uso del suelo, donde la superficie destinada por la metodología USLE es menor (891.27 km²) a la superficie asignada por la metodología de Mintegui (906.48 km²). Esto se debe a que en Mintegui se han incluido en la clasificación actividades diferenciadas pero que pueden abarcar valores importantes de asignación, como la de mejorar el pastizal.

Los valores de superficie asignada a la actividad de mantenimiento del uso agrícola son casi iguales para ambas metodologías, con una superficie de coincidencia de 37.18 km², similar al área improductiva de coincidencia en ambas metodologías con 36.24 km².

3.3.1. Cálculo del índice de Kappa

El índice estadístico Kappa (k) es un análisis no paramétrico de datos categóricos y tiene la siguiente expresión:

$$k = \frac{n \sum_k x_{kk} - \sum_k x_{k+} x_{+k}}{n^2 - \sum_k x_{k+} x_{+k}}$$

Donde,

x_{i+} $\sum x_{ij}$ (suma de todas las columnas de la fila i)

x_{+j} $\sum x_{ij}$ (suma de todas las filas de la columna j)

x_{kk} Cada valor de la diagonal principal

El índice k adopta valores tanto más próximos a la unidad cuanto mayor sea la similitud entre los dos criterios de clasificación.

Dicho estadístico se encuentra dentro del grupo de los estimadores del grado de asociación- independencia que sigue una distribución χ^2 de Pearson.

Calculado para cada una de las matrices, los resultados son los siguientes:

	Índice K
MOCS/USLE	0.5047
MOCS/Mintegui	0.5907
USLE/Mintegui	0.8410

Para interpretar el valor de K es útil disponer de una escala como la que sugiere Altman (1991), a pesar de su arbitrariedad:

Tabla 53. Fuerza de concordancia del índice K

Valor de K	Fuerza de la concordancia
< 0,20	Pobre
0,21 – 0,40	Débil
0,41 – 0,60	Moderada
0,61 – 0,80	Buena
0,81 – 1,00	Muy buena

De otra forma, Czaplewski (1994) recoge la interpretación que del índice han hecho diversos autores y que se muestra en la siguiente figura.

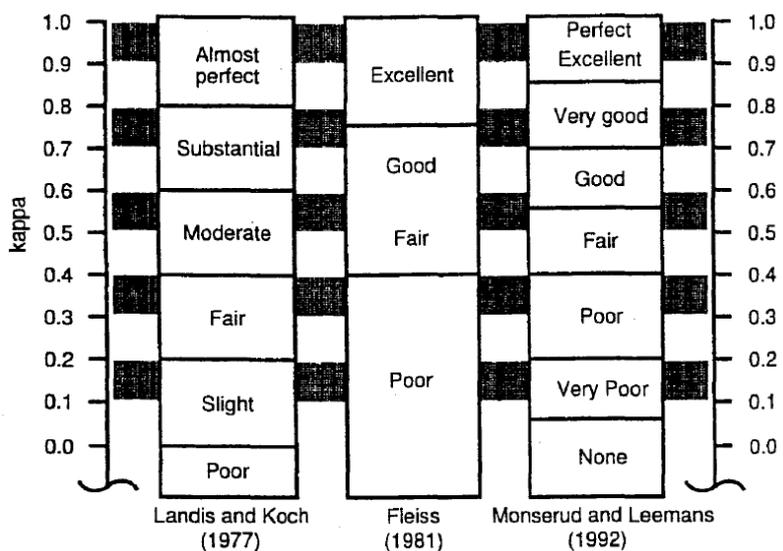


Figura 37. Interpretaciones del índice Kappa.

De acuerdo a las interpretaciones recogidas y según los índices kappa obtenidos, el grado de coincidencia de las metodologías en estudio, son clasificadas de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla 54. Fuerza de concordancia del índice K según los valores obtenidos

K	Landis and Koch(1977)	Fleiss (1981)	Monserud and Leemans (1992)
0.504	Moderado	Discreto	Discreto
0.529	Moderado	Discreto	Discreto
0.841	Casi perfecto	Excelente	Muy bueno

Como se puede observar en el cuadro, la coincidencia de la metodología MOCS con los métodos tradicionales de ordenación es “discreta” o “moderada”.

Con el índice kappa se interpreta hasta qué punto las metodologías coinciden. Estos métodos tienen un enfoque de planificación de actuaciones, por lo cual se observa una concordancia entre metodologías de ordenación de cuencas en la cuenca en estudio.

Finalmente, el último valor de K corresponde al grado de coincidencia entre las metodologías USLE y la de criterios de Mintegui, las cuáles como se puede observar, presentan un grado “muy bueno” o “excelente” de coincidencia. Esto se puede inferir debido a que la metodología con criterios de Mintegui se basa en los criterios del modelo USLE, con algunas modificaciones.

3.4. DISCUSIÓN

Con el propósito de poder revisar las principales características de las metodologías y poder llegar a definir la mejor metodología que se aplicaría en la cuenca de La Paz, teniendo en cuenta el entorno natural en la que se encuentra; es conveniente presentar una tabla resumen del análisis comparativo de las tres metodologías implementadas. Posteriormente se nombrarán las principales características del ámbito de las zonas áridas de Baja California Sur, México.

Tabla 55. Resumen de Comparación de Metodologías. Análisis de fortalezas y debilidades

METODOLOGÍAS		
USLE	CRITERIOS MINTEGUI	CRITERIOS DE SOSTENIBILIDAD
<p>Definición: Modelo Paramétrico de estimación de la erosión superficial y en cárcavas. Es cuantitativo y empírico. También sirve de orientación para la clasificación de actividades de ordenación agrohidrológica de cuencas.</p> <p>Descripción: Establece la erosión potencial del suelo en cada unidad homogénea de la cuenca determinada a través de la aplicación de la fórmula del mismo; es decir, define para cada una las diferentes zonas de la cuenca (con un uso y ordenación determinados) un valor promedio de las pérdidas anuales de suelo a largo plazo expresado en t/ ha·año.</p> <p>Instrumentos: Ecuación paramétrica: $A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P$ Tabla establecida: Ordenación de usos del suelo según el modelo USLE. El modelo se implementa en un SIG para los cálculos y representación de resultados en mapas temáticos.</p>	<p>Definición: Metodología basada en los “Criterios para la ordenación agrohidrológica de una cuenca alimentadora” (Mintegui, 2001). Propone, mediante una tabla, una diversidad de actuaciones en el territorio.</p> <p>Descripción: Se basa en el modelo USLE, que aporta el aspecto cuantitativo, y en los índices de protección del suelo por la vegetación (López Cadenas de Llano y Blanco Criado, 1968). Éstos índices aportan un valor cualitativo. La tabla destaca la utilización agropecuaria del suelo como muy influyente en los procesos hidrológicos que tiene lugar en la cuenca. La aplicación de los criterios se realiza sobre unidades homogéneas que caracterizan a la cuenca.</p> <p>Instrumentos: Tabla establecida: Criterios para la Ordenación Agrohidrológica de una cuenca alimentadora" El modelo se implementa en un SIG para la reclasificación de la ordenación de usos según las características descritas en la tabla y representación de resultados en mapas temáticos.</p>	<p>Definición: Metodología de planificación física, convenientemente adaptada para incorporar los objetivos de la protección hidrológico forestal, los complementarios de la ordenación de cuencas y los de sostenibilidad.</p> <p>Descripción: Determina la capacidad del medio para asumir determinadas actividades y posteriormente asigna aquellas compatibles. Da respuesta, por una parte, al control de la erosión formulando propuestas de conservación y aprovechamiento del suelo y agua y, por otra parte, a la conservación de los restantes recursos de la cuenca y a la biodiversidad.</p> <p>Instrumentos: Matrices de capacidad de acogida y conveniencia del medio respecto a ciertas actividades planteadas. La metodología se implementa en un SIG para los cálculos y representación de resultados en mapas temáticos.</p>

<p>Información necesaria:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Información de la caracterización de la cuenca. • Como se utiliza un SIG, se requerirá los mapas temáticos siguientes: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Líneas iso-R ▪ Litofacies ▪ Pendientes ▪ Usos del suelo o vegetación ▪ Prácticas de conservación de suelos agrícolas. <p>Proceso:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Cálculo de cada uno de los factores de la ecuación. 2. Aplicación de la fórmula USLE 3. Clasificación de los resultados según grado de erosión del suelo. 4. Comparación de resultados con el valor de pérdida de suelo tolerable. Del contraste de este valor con las pérdidas de suelo calculadas, se obtiene cuáles son las actividades más adecuadas para su conservación o mejora. 	<p>Información necesaria:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Información de la caracterización de la cuenca. • Resultados de la pérdida de suelo por erosión (USLE). • Como se utiliza un SIG, se requerirá los mapas temáticos siguientes: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Pendientes ▪ Litofacies ▪ Usos del suelo o vegetación ▪ Mapa de pérdidas de suelo por erosión <p>Proceso:</p> <p>Una vez calculada la erosión potencial del suelo en cada unidad homogénea de la cuenca y conociendo las características físicas y usos del suelo en esa unidad, se aplica la tabla de criterios de ordenación para asignar actividades en el territorio.</p>	<p>Información necesaria:</p> <p>Para definir y caracterizar el medio físico, se requieren los mapas temáticos de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pendientes • Influencia Hídrica • Uso del suelo • Litología • Pérdidas de suelo • Propiedad • Protección • Espesura de la cubierta arbórea <p>Se requieren tantos mapas como aspectos del medio sean involucrados en el análisis.</p> <p>Proceso:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Estudio de la problemática de la cuenca 2. Establecimiento de los objetivos 3. Definición de actividades para lograr dichos objetivos. 4. Inventario y análisis del medio: cartografía temática. 5. Estudio de la capacidad de acogida de dichas actividades: matriz de capacidad. 6. Estudio del grado de conveniencia en el medio para realizar dichas actividades: matriz de grado de conveniencia. 7. Adecuación de actividades. 8. Propuesta de actividades para optimizar los objetivos.
--	--	--

<p>Fortalezas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Usado desde hace tiempo y en diversos lugares del mundo. Tiene carácter Universal. • El parámetro clima (factor lluvia, factor R ó índice de erosión pluvial) del modelo USLE es el que le aporta la universalidad al modelo. • Buena parte de los datos necesarios para el cálculo de los factores puede ser conseguida de bases de datos nacionales o de otros estudios. • Aporta el valor cuantitativo de la erosión, por tanto es la base cuantitativa para los otros modelos. • Con la tabla de ordenación de usos del suelo, se constituye en un buen instrumento para planificar el uso agronómico del territorio. <p>Debilidades:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tiende a ser una generalización extrema del problema real para el cálculo de la erosión. • La ecuación no incluye el cálculo de la deposición y acumulación de sedimentos (Roo, 1993). • El parámetro R del modelo USLE es el más complejo de establecer. • En la tabla de “Ordenación de los usos del suelo en las diferentes superficies de la cuenca según el modelo USLE” se hace una clasificación generalista de los usos futuros propuestos, no diferenciando bien las formaciones vegetales presentes en una cuenca. Será labor del gestor el plantear actividades de uso futuro más específicas a partir de la tabla establecida. • La clasificación de ordenación se basa más que todo en el valor cuantitativo de pérdida de suelo por erosión. 	<p>Fortalezas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Es una metodología cuanti-cualitativa. • La ordenación del territorio no debe centrarse sólo en un aspecto meramente físico (USLE). Es preciso conocer y analizar previamente los actuales usos del suelo. Esta metodología clasifica las actividades de ordenación analizando cada uso de suelo que existe en la cuenca, toma en cuenta características del suelo y la vocación del territorio. • Establece mayor cantidad de alternativas de actividades de ordenación respecto a USLE, pero esto no deriva en exceso de detalles, para no perder la generalidad y el pragmatismo que persigue. • La tabla de criterios de ordenación, constituye una generalización de las tablas particulares que se realizan para cada proyecto concreto de restauración agrohidrológica. • Dependiendo de los objetivos específicos que se aborden en el proyecto, se incorporan nuevos índices, a fin de precisar las áreas de aplicación de las diferentes acciones o su implicación en el entorno <p>Debilidades:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Necesita, además de la información de pendiente, uso de suelo y tipo de suelo, de los resultados de la aplicación del modelo USLE para completar la clasificación de actuaciones. • La tabla no tiene en cuenta determinados aspectos de interés para la ordenación como aspectos posicionales o zonificación de la cuenca (áreas dominantes y dominadas), ni la capacidad actual del territorio para permitir una cierta actividad. • En cierta parte es subjetivo en la decisión de la selección de actuaciones en el territorio. 	<p>Fortalezas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Es una metodología cuanti-cualitativa. • Además de los aspectos hidrológicos, propios de los otros modelos de ordenación de cuencas, ésta metodología incorpora el criterio de la sostenibilidad en el uso de los recursos naturales de la cuenca. Lo hace a través del análisis de la Capacidad de acogida del territorio, que depende de su aptitud intrínseca para soportar tal tipo de uso y del impacto ambiental que la localización allí de ese uso genera en el entorno. • Pueden definirse objetivos según la problemática específica de cada cuenca y con ellos actividades de ordenación más específicas. • Las matrices de capacidad de acogida de las actividades por parte del medio, son flexibles a incorporación de nuevos índices representantes del medio a analizar. <p>Debilidades:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Deben establecerse actividades a localizar con el modelo y que dependan de elementos del medio, siempre que puedan representarse mediante mapas temáticos. • Uno de los elementos del medio analizados en las matrices es la pérdida de suelo calculada por el modelo USLE, por lo que esta metodología mostraría cierto grado de dependencia de aquél. • En cierto grado, la metodología puede ser subjetiva en la valoración de las matrices, es decir, éstos valores dependerán de la decisión de los gestores. • Su ejecución es más compleja que las otras metodologías.
---	---	---

Características de Baja California Sur, México.

La Península de Baja California es una de las provincias fisiográficas definidas por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) para el territorio nacional. Dada la enorme importancia que tiene el agua para los ciclos funcionales de animales y plantas en una región tan árida como lo es el estado de Baja California Sur, es conveniente pensar en la lluvia como un agente determinante al momento de plantear posibles modificaciones a los usos del suelo en la zona de estudio.

El estado de Baja California Sur está sujeto a un régimen climático árido-seco, con la presencia eventual de ciclones tropicales, alrededor de los meses de septiembre y octubre, que son el fenómeno meteorológico encargado de generar intensas lluvias, las que a su vez dan lugar a crecidas, incrementando el volumen de agua que normalmente transportan las corrientes naturales o arroyos de la región. También se llegan a producir ráfagas de viento con velocidades superiores a los 100 km/h, sobre determinadas zonas del estado en presencia de los ciclones.

En referencia a la escasez de agua en una zona sumamente seca como lo es Baja California Sur, con esporádicas precipitaciones a lo largo del año, es obligado establecer la importancia del agua subterránea y la recarga de los acuíferos circundantes a la región como medio de almacenamiento y preservación del recurso agua. De ahí se deriva la alarmante situación en la que de los 18 acuíferos que se encuentran en el municipio de La Paz, la CONAGUA reporta el balance hídrico de quince de ellos, de los cuales, ocho presentan sobreexplotación. De especial preocupación son los acuíferos de La Paz y Los Planes cuyo déficit es de 2.6 y 3 millones de metros cúbicos respectivamente. Por otro lado, un estudio sobre calidad del agua subterránea realizado por la Sociedad de Historia Natural Niparajá, A.C. desde 2004, muestra que el 24% de los pozos muestreados en la entidad rebasan el límite de arsénico en agua recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS). En general, esta contaminación se debe a la presencia de depósitos volcánicos con este mineral en la región. Adicional a esto, los grandes desarrollos residenciales y turísticos que se establecen en la zona de estudio así como la actividad agrícola ejercen una fuerte presión

sobre dicho recurso. De ahí la urgencia de proteger las zonas de recarga de acuíferos y construir infraestructura adecuada para favorecer la infiltración de agua en territorio sudcaliforniano.

En la mayor parte de los terrenos del estado se desarrollan matorrales xerófilos, como los denominados sarcocaulle, sarcocrasicaule de neblina, desértico micrófilo, crasicaule y mezquital. Otros tipos de vegetación también desérticos, pero más ligados a características edáficas, son la vegetación halófila y la vegetación de desiertos arenosos, localizados en el Desierto de San Sebastián Vizcaíno.

Los terrenos dedicados a la agricultura ocupan zonas de declive suave, tanto en llanuras, valles y bajadas como en lomeríos. La principal limitante para el desarrollo agropecuario es la escasez de agua. Para usar de manera eficiente este recurso, los agricultores de la zona están interesados en orientarse hacia cultivos que requieran de poca agua, como la damiana, el nopal y la sábila. También empiezan a sentirse atraídos por la creación de invernaderos donde el consumo de agua es más controlado.

La transportación terrestre se efectúa principalmente por la carretera transpeninsular que atraviesa todo el municipio de La Paz y desde luego al Estado de norte a sur. La conexión entre distintas rancherías está dada por caminos rurales de terracería. Además de un aeropuerto internacional, la Paz cuenta con tres puertos orientados principalmente al comercio y a la pesca, éstos son La Paz, Pichilingue y San Juan de la Costa.

El sector terciario es el de mayor dinamismo, tanto en valores absolutos como relativos. Se destacan los servicios financieros, seguros, actividades inmobiliarias y de alquiler. De igual forma, los subsectores de la construcción y la electricidad, gas y agua, proyectan un crecimiento. Por su parte, el sector primario, al igual que la industria manufacturera, registran una caída en su ritmo de crecimiento. La minería mantiene una tendencia variable.

Las inundaciones son el tipo de desastre natural mas frecuente en la región. Estas suelen estar asociadas con las tormentas tropicales, los huracanes y las lluvias de invierno. Pueden estar acompañadas del arrastre de material sólido proveniente de las partes altas de las cuencas, cuya cantidad depende de las características de la cubierta vegetal, el tipo de suelo y la pendiente. En las cercanías de la ciudad de La Paz, las zonas con mayor riesgo de avenidas súbitas que afectan la circulación vehicular y los asentamientos humanos se ubican a lo largo de los arroyos de El Cajoncito, Los Tamales y el Novillo, así como sus tributarios El Piojillo y El Vaquero.

La parte alta oriental de la cuenca de La Paz es árida con un patrón de lluvias muy azaroso, que son de tipo convectivo y ciclónico. Los valores promedio anuales van desde los 250 mm en la parte norte, sierra Las Cruces hasta los 425 mm en la parte sur, sierra Las Trincheras. Sin embargo, las altas pendientes, la escasa vegetación y el tipo de rocas contribuyen a un alto grado de erosión. La sierra La Trinchera es la más poblada, con más de 30 rancherías dispersas a todo su largo, y sus habitantes dependen fundamentalmente de una ganadería de tipo extensivo, que depende principalmente de la flora local y de las precipitaciones. Son precisamente vacas y chivos los que en gran parte contribuyen a la deforestación de la porción sur, la cual a su vez es la fuente principal de la recarga del acuífero que suministra agua a la ciudad capital del estado, La Paz.

Lo anterior plantea un panorama urgente de atender: una gran erosión en el área de estudio, la vegetación es escasa y difícil de conservar, los frecuentes periodos de sequía no han sido estudiados como para prever contingencias, por esto las condiciones culturales y el nivel de vida de sus pobladores es precario, además los requerimientos de agua de la Cd. de La Paz son cada vez mayores y el área de ordenación de la cuenca es precisamente la fuente de la recarga del acuífero, repitiéndose este esquema de escasez de agua como un aspecto notable para las cuencas hidrográficas del estado de Baja California Sur.

Selección de la metodología

Al término del estudio de cada metodología, así como las principales características del estado de Baja California Sur, se propone que la metodología que mejor se aplicaría en futuros estudios y proyectos, es la metodología con criterios de sostenibilidad, debido a que es una metodología flexible en su planteamiento y que por otro lado, conserva el componente cuantitativo de la metodología USLE.

Consecuentemente al tener en cuenta la flexibilidad de las matrices con las que trabaja esta metodología, son propuestos algunos criterios que caracterizan al entorno árido de Baja California Sur, tales como:

- Información relacionada a la recarga de acuíferos y gestión de aguas subterráneas. Adicionalmente se puede añadir el criterio de contaminación de acuíferos y los riesgos que suponen para la ordenación de un territorio.
- Riesgo de deslizamientos.
- Índices fito-climático, que permitan establecer la capacidad de las diferentes áreas de la cuenca para mantener una determinada vegetación climática. Este índice, representaría la potencialidad de la cuenca para recuperar su vegetación climática y por tanto sus posibilidades de rehabilitación a través de actuaciones hidrológico forestales.

Finalmente como objetivo global de la ordenación de cuencas está el aumento de la calidad de vida de los habitantes en la zona a través de todas las mejoras en el medio natural y en los recursos naturales de la cuenca; con lo que se deberá intentar en todo momento analizar y estudiar la problemática y el planteamiento de soluciones de una manera “integral”, tomando en cuenta que el ámbito analizado es un sistema en el que los diferentes componentes están interrelacionados y que no es conveniente manejar cada componente como si fuera una entidad única.

De esta forma se espera que esta metodología sea útil para establecer las pautas a otros modelos más complejos de manejo y gestión del recurso hídrico y recursos naturales en general.

CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES DEL TRABAJO

4.1 CONCLUSIONES

A partir del presente trabajo se enumeran las principales conclusiones obtenidas del mismo:

- Se identificaron, describieron y analizaron tres metodologías de ordenación de cuencas: con dos metodologías tradicionales como son la del Modelo USLE y la metodología con criterios de Mintegui, y una nueva metodología, la de criterios de sostenibilidad.

- El campo de aplicación de estas metodologías fue la cuenca de La Paz en el estado de Baja California Sur, en la parte noroeste de México. A través de los SIG, fue posible identificar sitios estratégicos de la cuenca de estudio en donde se deben implementar medidas de ordenación agro-hidrológica, conservación y restauración.

- Partiendo de objetivos generales de la ordenación agrohidrológica y la posterior restauración hidrológico forestal en la cuenca, la retención del suelo (evitar los fenómenos de erosión) el control de avenidas, la regulación del transporte de materiales y de la sedimentación y finalmente la provisión hídrica; las metodologías de ordenación aplicadas en este trabajo se basaron en el cumplimiento de los objetivos referidos a la utilización agronómica de la misma y las potencialidades vegetativas en las diferentes zonas de la cuenca.

- Entre las actividades propuestas por las diferentes metodologías están: la repoblación forestal protectora, mantener usos del suelo y realizar prácticas adecuadas de cultivo, así como la adopción de medidas de conservación de enclaves de interés y repoblaciones para aumentar la biodiversidad.

- Las tres metodologías de ordenación fueron comparadas mediante el análisis de las superficies de actuación asignadas para cada una de las actividades sugeridas por cada metodología. Dicha comparación se ha realizado a partir de la coincidencia espacial de las actividades comunes seleccionadas por cada uno de los métodos aplicados.

- La aplicación de las tres metodologías a una cuenca determinada se concreta en un conjunto de actividades a desarrollar (diferentes para cada metodología), expresadas cartográficamente en mapas temáticos. Esta forma de presentación de resultados y la disponibilidad de herramientas para el tratamiento de la información georreferenciada del medio, pueden ser utilizadas y explotadas en el proceso de planificación y formulación, ya que ponen a disposición del gestor un instrumento de gran potencia y flexibilidad para optimizar su aplicación y establecer prioridades de actuación en función de la problemática existente y de los recursos disponibles.

- Según los resultados de pérdidas de suelo del modelo USLE y la Clasificación Provisional para la Evaluación de la Degradación de los Suelos de la FAO, el grado de erosión de la cuenca en estudio es de ligero a moderado.

- Se presentan algunas diferencias en las superficies de asignación de actividades de ordenación de la cuenca de La Paz respecto a las tres metodologías, las cuáles pueden observarse claramente en los mapas resultantes de la ordenación de la cuenca. Estas diferencias, si bien no son de gran magnitud, son lógicas en tanto que la clasificación de actividades futuras a realizar no es la misma. Sin embargo, los resultados de comparación espacial entre ellas, muestran que en general, las actividades consideradas parecidas, contempladas entre un método y otro, presentan alto grado de coincidencia. Así por ejemplo, la actividad con mayor coincidencia superficial es la de mantener-mejorar el uso del suelo, seguida de la repoblación forestal.

- Con el cálculo del índice Kappa, se ha establecido que la fuerza de concordancia entre las tres metodologías es de moderado a bueno.

- A partir del análisis comparativo de las metodologías, se han podido identificar las ventajas y desventajas de cada una de ellas, lo que lleva a la conclusión de que las tres metodologías son complementarias. Las técnicas cualitativas y cuantitativas son complementarias en la definición de parámetros analizados. Las metodologías con criterios de Mintegui y Sostenibilidad, que son técnicas más cualitativas, se basan en los resultados cuantitativos y físicos de pérdidas de suelo del modelo USLE.
- La aplicación del modelo USLE es atractiva a muchos usuarios, particularmente para poder cuantificar evaluaciones del riesgo de erosión del suelo, sin embargo este modelo al utilizar la valoración factorial no tiene en cuenta la erosión en cárcavas y barrancos, así como los movimientos en masa, tampoco toma en consideración la deposición de los sedimentos que ocurran en el área modelizada.
- La metodología de Mintegui se basa además en la clasificación de los índices de protección del suelo por la vegetación, y a diferencia de USLE, que solo toma en cuenta el fenómeno erosivo de manera física, analiza los usos del suelo actuales, los estratos de vegetación, el tipo de suelo y la vocación del territorio, para finalmente proponer alternativas de actuaciones en el territorio. Los criterios establecidos por esta metodología constituyen una generalización de las tablas particulares que se pueden aplicar a proyectos de restauración agrohidrológica.
- La metodología de criterios de sostenibilidad determina objetivos que son propios de la sostenibilidad: protección de ecosistemas, aumento de la riqueza en biodiversidad, también contemplar como criterio de decisión fundamental la capacidad del medio para acoger actividades sin poner en riesgo su conservación, definiendo áreas potenciales para el desarrollo de las mismas. Los elementos del medio natural analizados en las matrices cuentan con clasificaciones parecidas a las de las tablas establecidas en la metodología según criterios de Mintegui. Esta metodología puede proponer una mayor cantidad de actividades diferentes para la ordenación y conservación de recursos naturales en la cuenca.

- Es conveniente establecer las limitantes administrativo-técnicas que presentó este trabajo al momento de recabar toda la información hidrológica necesaria para la zona de estudio, pues en primera instancia no existía un estudio relacionado a la ordenación de la cuenca de La Paz basado en la erosividad de la zona, por lo tanto no había registros de datos de erosión en la cuenca, con lo que fue necesario elaborar y organizar primariamente la escasa información hidrológica con la que se contaba. Entre las recomendaciones que se señalan, está la del fortalecimiento de la red de monitoreo hidrológico en México (mayor inversión, preparación de recursos humanos, nuevos esquemas de ubicación de estaciones, equipo actualizado; mediciones estandarizadas, facilidad en el acceso a la información) así como la importancia de promover investigaciones relacionadas al conocimiento de la cobertura forestal del territorio mexicano a una escala de mayor detalle.

- De acuerdo a lo mencionado anteriormente, se concluye que las tres metodologías son válidas en su aplicación en la cuenca de estudio, sin embargo, se considera que la metodología con criterios de sostenibilidad es la metodología que mejor se adapta a la cuenca en estudio y al entorno del estado de Baja California Sur, ya que cuenta como base al modelo cuantitativo de pérdidas de suelo USLE y es flexible en su planteamiento. Esto último es lo que hace a esta metodología, una herramienta viable para ser actualizada y manejada respecto a una aplicación específica.

- La elección final de un determinado modelo depende de su utilidad y alcance, lo que a su vez viene condicionado a: la amplitud que pretende abarcar, los parámetros y coeficientes que utilice, el rigor que exige o es posible exigir en las mediciones de los parámetros que en él intervienen, las disponibilidades de medida con las que se cuentan y los coeficientes de ajuste obtenidos de la experiencia.

4.2. APORTES DEL TRABAJO

Las innovaciones que son propuestas a partir del presente trabajo, conciernen a los siguientes puntos:

- A través de la Metodología de criterios de Sostenibilidad es posible evaluar las capacidades del medio para acoger actividades, y así realizar los mapas temáticos de capacidad, conveniencia y adecuación, para cada actividad propuesta.
- Se elaboraron mapas temáticos de caracterización y ordenación de la cuenca de La Paz, tales como el mapa del índice R, K, Factor topográfico LS, etcétera.
- Es posible que la Metodología de criterios de Sostenibilidad traslade su campo de aplicación a una zona sumamente alejada del entorno mediterráneo para la que fue creada.
- Mediante la comparación de metodologías se demuestra la aplicabilidad de las mismas en el ámbito árido-seco de Baja California Sur.
- A partir del análisis y comparación de las metodologías aplicadas en el estudio, este trabajo inicia una línea de investigación que podrá desembocar en una metodología de ordenación de cuencas sudcalifornianas.

4.3. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Con el desarrollo de este trabajo, han surgido algunas cuestiones abiertas que podrían encontrar respuesta gracias a futuras actividades de investigación. Los problemas planteados son los siguientes:

- Validar e investigar la aplicación de estas metodologías en otro ámbito biogeográfico del continente americano.
- Investigar, proponer y establecer los lineamientos para una nueva metodología de ordenación de cuencas áridas en el ámbito sudcaliforniano.

- Adicionar la injerencia de las aguas subterráneas en las funcionalidades de la nueva metodología propuesta, con lo que se abriría un campo de investigación sumamente interesante y de gran relevancia para el ámbito de regiones áridas en donde el recurso hídrico es escaso.

- Una metodología difiere de acuerdo al lugar donde se aplique. Para confirmar la funcionalidad de la nueva metodología, es necesaria la aplicación de la misma en otras cuencas.

- Una de las limitantes más comunes al momento de elaborar un trabajo como este, es la necesidad de contar con información cartográfica a mayor detalle (escala menor), por lo que se puede plantear realizar un análisis de la información cartográfica a mayor detalle para que a la hora de plantear actividades para la ordenación de las cuencas, éstas sean diversificadas y más puntuales.

- Para el cumplir los objetivos generales de la ordenación agrohidrológica y la posterior restauración hidrológico forestal de manera detallada, se propone incluir junto a la metodología elegida, el diseño y aplicación de un modelo hidrológico distribuido incluyendo el análisis de la torrencialidad en la cuenca, para: 1. El cálculo de la emisión de sedimentos en la unidad hidrológica de estudio mediante el método MUSLE (USLE modificada) para cada aguacero 2. Establecer las ecuaciones de transporte desde la unidad hidrológica, hasta la salida de la cuenca y 3. Evaluar los sedimentos llegados a la salida de la cuenca. Por otro lado también se pueden incluir los aspectos relacionados con la provisión hídrica (gestión del agua).

- Estas metodologías pueden servir como base para estudiar escenarios de la incidencia del cambio climático sobre los usos del suelo en una cuenca hidrográfica, y estudiar los posibles riesgos para el territorio y cuáles serían las futuras actividades de ordenación ante estos cambios.

CAPÍTULO 5. BIBLIOGRAFÍA

- Agencia Europea del Medio Ambiente [AEMA]. (1995). *Informe Dobbris sobre el Medio Ambiente en Europa*. Oficina de Publicaciones de las CCEE Luxemburgo.
- Aliphath-Fernandez, M. y Werner, G. (1994). *The tepetates of Central Mexican Highlands: Prehispanic and modern impact of agriculture and water management* Transactions 15th World Congress of Soil Science. Acapulco, México. 6ª: pág. 528-540.
- Altman D.G. (1991). *Practical statistics for medical research*. New York: Chapman and Hall.
- Álvarez-Arellano AD, H Rojas-Soriano & JJ Prieto-Mendoza. (1997). *Geología de la bahía de La Paz y áreas adyacentes*. Universidad Autónoma de Baja California Sur, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. México y SCRIPPS Institute. La Paz, Baja California Sur. pág. 13-28.
- Andutta, F.P., Ridd, P.V. (2011). *Dynamics of hypersaline coastal waters in the Great Barrier Reef*. Australian Institute of Marine Science, Townsville, Australia.
- Arana, R.; Rodríguez,T., Mancheño,M.A., Guillén,F., Ortiz,R., Fernández, M.T.; del Ramo, A. (1999). *El patrimonio geológico de la región de Murcia*. Interlibro. Fundación Séneca. Murcia (España). 399 pp.
- Aranda Gómez J, Pérez Venzor J. (1988). *Estudio geológico de Punta Coyotes Baja California Sur*. Universidad Nacional de México. Instituto de Geología. Revista, vol. 7, núm.1, pág. 1-21.
- Arnoldus, H. (1977). *Predicting soil losses due to sheet and rill erosion*. En: *Fao Conservation Guide 1*. Guidelines for watershed management. pág. 99-123.
- Barredo, J.I. (1996). *Evaluación Multicriterio y Sistemas de Información Geográfica en la Ordenación del Territorio*. Madrid. Editorial RA-MA. pp. 264.
- Booth, E.L.J., Byrne, J.M. (2011). *Climatic changes in western North America, 1950-2005*. Water and Environmental Sciences, University of Lethbridge. Alberta, Canada.

- Caruso, B.S. (2011). *Hydrologic Modification from Hydroelectric Power Operations in a Mountain Basin*. University of Canterbury Department of Civil and Natural Resources Engineering Christchurch. New Zealand.
- Claver I. (1982). *Guía para la elaboración de estudios del medio físico. Contenido y Metodología*. CEOTMA. MOPU. Madrid.
- Colegio de Postgraduados. (2008). *Programa de obras y acciones para la preservación de la cuenca Villa Victoria – San José del Rincón, Estado de México*, Comisión Nacional del Agua.
- Comisión Nacional del Agua [CONAGUA]. (2008). *Estadísticas del Agua en México. 1ra. Edición 2008*. ISBN 978-968-817-895-9.
- Comisión Nacional del Agua [CONAGUA]. (2010). *Plan de manejo integrado de las aguas subterráneas en el acuífero La Paz, Baja California Sur*. Dirección Local Baja California Sur. 27 pp.
- Cook, H. L. (1936). *The nature and controlling variables of the water erosion process*. Soil Sc. So. Am. Proc. 1. pág. 60-64.
- Colman, E. A., (1953). *Vegetation and Watershed Management*. United States. 12 pp.
- Crosby, H., (1992). *Los últimos Californios*. La Paz, B.C.S., Gobierno del Estado de Baja California Sur. 162 pp.
- Cruz Falcón A., (2007). *Caracterización y Diagnóstico del Acuífero de La Paz B.C.S. Mediante Estudios Geofísicos y Geohidrológicos*. Tesis de Doctorado, IPN-CICIMAR. 139 pp.
- Czaplewski R. (1994). *Combining mapped and statistical data in forest ecological inventory and monitoring – supplementing an existing system*. United States Forest Service Department of Agriculture. 23 pp.
- Desmet, P.J.J. and G.Govers. (1996). *A GIS-procedure for automatically calculating the USLE LS-factor on topographically complex landscape units*. Journal of Soil and Water Conservation, 51 (5). pág. 427-433.
- Díaz, S. y Troyo, E. (1997). *Balance hidrológico y análisis de la aridez en la península de Baja California*. Publicación n° 13. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. S.C. La Paz. Baja California Sur. pág. 35-49.
- Díaz, S., Troyo,E., Nieto,N., Maya,Y., Murillo,B., García,J.L. (2004). *Balance hidrológico y análisis de la aridez en oasis de Baja California Sur*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. S.C., Universidad Autónoma de Baja

California Sur y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. La Paz. Baja California Sur. pág. 53-56.

- Doyle T.W. (2010). *Predicting the retreat and migration of tidal forests along the northern Gulf of Mexico under sea-level rise*. U.S. Geological Survey, National Wetlands Research Center. United States.
- Dragoo, L.C. y T. Maddock. (2004). *Hydrology Model for the Alternative Futures of La Paz*. Harvard University, Universidad Autónoma de Baja California Sur and the University of Arizona. Department of Hydrology and Water Resources. Tucson, AZ. 16 pp.
- FAO-PNUMA-UNESCO. (1980). *Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos*. Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo de la Agricultura y la Alimentación (FAO), Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Organización de las Naciones para el Medio Ambiente (UNESCO). Roma Italia.
- FAO-PNUMA. (1984). *Directrices para el control de la degradación de los suelos*, FAO, PNUMA. Roma.
- FAO. (1992). *Wastewater treatment and use in agriculture*. Department of Civil Engineering University of Newcastle-upon-Tyne Newcastleupon- Tyne, UK.
- Felker, P. (1979). *Mesquite. An all-purpose leguminous arid land tree*. In: G.A. Ritchie (ed.). *New agricultural crops*. AAAS. Selected Simposium No.38. pág. 89-132.
- Figueroa S. B., A. Amante O., H. G. Cortés T., J. Pimentel L., E. S. Osuna C., J. M. Rodríguez O. Y F. J. Morales F. (1991). *Manual de predicción de pérdidas de suelo por erosión*. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Méx. pág. 83-90.
- Figueroa Sandoval, B. (1975). *Pérdida de suelo y nutrimentos y su relación con el uso del suelo en la cuenca del río Texcoco*. Tesis de Maestría. Colegio de Posgraduados. Chapingo, México. 209 pp.
- Frizzell, Jr V.A., Fox, L.K., Mooser, F.C. & Ort, K.M. (1984). *Late Cretaceous granitoids, Cabo San Lucas Block, Baja California Sur, México*. EOS, Transactions of the American Geophysical Union. 65: 1151. 12 pp.
- Garatuza P.J., Sánchez R., Sánchez S. y Navarro J. (2005). *Using remote sensing to investigate erosion rate variability in a semiarid watershed, due to changes in vegetation cover*. *Sediments Budgets I*. IAHS Publ. 291, pág. 144-151.

- García, M. (1985). *Estudio Geohidrológico Complementario de las cuencas La Paz-El Carrizal*. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.
- Guevara, E. (1997). *Manejo integrado de cuencas. Documento de referencia para los países de América Latina*. FAO. RCL/97/04-FOR-54. Santiago. Chile. 14 pp.
- Gómez Orea D. (1978). *El medio Físico y la planificación*. Vol 1 y 2. Cuadernos del CIFCA, 10. Madrid.
- Gómez, R., Hurtado,I., Suárez,M.L., Vidal-Abarca,M.R. (2005). *Ramblas in Southeast Spain: threatened and valuable ecosystems*. Aquatic Conservation. Marine and Freshwater Ecosystems 15: pág. 387-402.
- González, D.S. (2011). *Precipitaciones extremas y sus implicaciones en procesos de remoción en masa en la planificación urbana de Tampico, México*. Facultad de Arquitectura, Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México. pág. 135-139.
- Guevara, E. (1997). *Manejo integrado de cuencas. Documento de referencia para los países de América Latina*. FAO. RCL/97/04-FOR-54. Santiago. Chile. 14 pp.
- Halffter, G. (2011). *Historical and ecological determinants of dung beetle assemblages in two arid zones of central Mexico*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Pachuca. Mexico. pág. 54-60.
- Hausback, B. P. (1983). *An extensive volatile-charged rhyodacite flow, Baja California, Mexico: Geol. Soc. America*. Abstr. With Program. v. 15. 281 pp.
- Huang, G., Kadir, T. (2008). *Hydrological response to climate warming: The Upper Feather River Watershed*. California Department of Water Resources. United States. pág. 138-50.
- Hufschmidt, M. (1986). *A conceptual framework for analysis of watershed activities. In strategies, approaches and systems in integrated watershed management*. Conservation Guide n°14, FAO. Roma.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, [INEGI] (2010). *En México somos 112 millones 322 mil 757 habitantes al 12 de junio de 2010*. Recuperado el 15 de enero de 2012 en <http://www.inegi.org.mx/inegi/contenidos/espanol/prensa/comunicados/rpcpyv10.asp>
- Kinoshita, A. M. (2011). *Spatial and temporal controls on post-fire hydrologic recovery in Southern California watersheds*. Department of Civil and Environmental Engineering, University of California, Los Angeles, CA. United States. pág. 240-252.

- Klein, R.D., Lewis, J. (2012). *Logging and turbidity in the coastal watersheds of northern California*. North Coast Regional Water Quality Control Board. United States.
- Laura M. Brady. (2001). *Spatial variability of sediment erosion processes using GIS analysis within watersheds in a historically mined region, Patagonia Mountain*. U.S. Geological Survey.
- Law, D. J. (2011). *Hydrologic, abiotic and biotic interactions: Plant density, windspeed, leaf size and groundwater all affect oak water use efficiency*. USDA Forest Service Rocky Mountain Research Station, 333 Broadway SE, Albuquerque. United States.
- López Cadenas de Llano F. y Blanco Criado M. (1968). *Aspectos cualitativos y cuantitativos de la erosión hídrica y del transporte y depósito de materiales*, I.F.I.E. Madrid. 187 pp.
- López Cadenas de Llano, Filiberto. (Director); (1994, 1998). *Restauración hidrológico forestal de cuencas y control de la erosión*. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid: Grupo Tragsa. 929 pp.
- López, N.S., Villareal L.Z. (2011). *Land management, tourism and the environment in Valle de Bravo, Mexico*. Centro Interamericano de Recursos del Agua (CIRA), Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMex). Mexico. pág 233-250.
- Lowry, C.S., Loheide, S.P. (2011). *Groundwater controls on vegetation composition and patterning in mountain meadows*. Department of Civil and Environmental Engineering, 201 More Hall, University of Washington, Seattle.
- Maya Yolanda (2010). *Environmental Assesment of eroded soils ,Tropical and Subtropical Agroecosystems*, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. México. pág. 169 -179.
- Mccool, D. K., Brown, L. C., Foster, G. R., Mutchler, C. K. And Meyer, L. D. (1987). *Revised Slope Steepness Factor for the USLE*. United States of America.
- Mellerowicz, H.W. Rees, T.L. Chow, y I. Ghanem. (1994). *Soil conservation planning at the watershed level using the Universal Soil Loss Equation with GIS and microcomputer technologies: a case study*. Journal of Soil and Water Conservation Vol. 49, no. 2, pág. 194-200.
- Ministerio de Medio Ambiente [MMA]. (1996). *Guía para la Elaboración de Estudios del Medio Físico: Contenido y Metodología*. Secretaría General de Medio Ambiente. Centro de Publicaciones. Serie monografías. Madrid. 808 pp.

- Mintegui Aguirre J. A. y López Unzu. (1990). *La ordenación agro-hidrológica en la planificación*. Servicio de Publicaciones del Gobierno Vasco. Vitoria. 306 pp.
- Mintegui Aguirre J.A., Robredo Sánchez J. C. (editores) (2008). *Estrategias para el control de los fenómenos torrenciales y la Ordenación Sustentable de las Aguas, Suelos y Bosques de las cuencas de montaña. Documentos Técnicos del PHI-LAC N° 13*. UNESCO. Uruguay.
- Mosterin J. (1984). *Conceptos y teorías de la ciencia*. pág. 149.
- Nelson, L.B. (1958). *Building sounder conservation and water management research programs for the future*. Soil Sci. Soc. Am. Proc., pág. 355-358.
- Ortega-Gutiérrez, Fernando. (1982). *Evolución magmática y metamórfica del complejo cristalino de La Paz, Baja California Sur*. Asociación geológica mexicana. Convención Nacional, Programa y Resúmenes, pág. 90 (resumen).
- Oyarzún, C. (1993). *Estimación de los procesos de erosión hídrica en un ambiente montañoso de la cuenca del Río Bío-Bío, IX Región, Chile*. Tesis U. de Concepción. Concepción, Chile. 150 pp.
- Patiño V., F. y Marín, Ch. J. (1993). *Viveros Forestales. Planeación, establecimiento y producción de plantas*. Serie: Libro Técnico. Centro de Investigación Regional de Sureste. INIFAP. México. pág. 65-100.
- Peinado, M. (2011). *Bioclimates and vegetation along the Pacific basin of Northwestern Mexico*. Cátedra de Medio Ambiente, Universidad de Alcalá, Alcalá de Henares, España.
- Rábade J. M^a. (2006). *2º Simposio Internacional de Desertificación y Migración (Sidym)*. Recuperado el 30 de enero de 2012 en http://www.sidym2006.com/imagenes/pdf/ponencias/17_se.pdf
- Ramos A. (1979). *Planificación física y ecología: Modelos y métodos*. EMESA. Madrid.
- Robredo Sánchez J. C. y Mintegui Aguirre J.A. (1994). *Diseño de un modelo distribuido elemental para el análisis del comportamiento hidrológico de una cuenca vertiente*. Ingeniería del Agua. Vol. 1 Núm. 4. pág. 79-100.
- Rojo L. (1995). *La ordenación de cuencas hidrográficas como marco metodológico para la conservación de la biodiversidad*. Cuadernos de Sección. Ciencias Naturales 11. (1995) p. 99-104. Donostia: Eusko Ikaskuntza.

- Roldan P.A. y J. Trueba D. (1978). *Factores ecológicos y sociales de “La desertificación en México”*. Instituto de Investigación de Zonas Desérticas. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México, pág. 55-80.
- Sánchez Rigoberto. (2004). *Características ambientales y áreas potenciales para cultivos en el municipio de La Paz, B.C.S* Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. 52 pp.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT] y Colegio de Postgraduados. (2004). *Evaluación de la Degradación de los Suelos Causada por el Hombre en la República Mexicana*, a escala 1: 250,000: Memoria Nacional 2001-2002. México.
- SEDUE. (1986). *Informe sobre el estado del medio ambiente en México*. SEDUE, México DF.
- Silver, L.T., Chapell. B.W. (1988). *The peninsular ranges batholits: An insight into the evolution of the Cordilleran batholits of southwestern North America*. Transactions of the Royal Society of Edinburgh 79: pág. 105-121.
- Subsecretaría de infraestructura Hidráulica. (1985) *Estudio geohidrológico complementario de las cuencas La Paz-El Carrizal para proporcionar agua en bloque a la ciudad de La Paz B.C.S.*, Universidad Autónoma de Baja California Sur.
- Tejera G. R. (2001). *Metodología para la ordenación de cuencas hidrográficas con criterios de sostenibilidad*. Tesis de Doctorado Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes.
- Torres, B. E., (2000). *Comparación de los modelos de simulación hidrológica SWRRB y SWAT en la cuenca El Tejocote, Atlacomulco, Edo. De México*. Tesis de Maestría, Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- UNCED (1992). *United Nations Conference on Environment and Development*. Rio de Janeiro.
- Van Oost, K., Govers, G., Desmet, P. (2000). *Evaluating the effects of changes in landscape structure on soil erosion by water and tillage*, Landscape Ecology, 15. pág. 577-589.
- Vera J.A. (editor) (2004). *Geología de España*. SGE-IGME. Madrid. 890 pp.
- Vilchis Mata, I., Quentin, E. (2011). *Daily rainfall estimation using a GIS with weather radar imagery water technology and sciences*. Facultad de Ingeniería,

Centro Interamericano de Recursos del Agua, Universidad Autónoma del Estado de México. México. pág. 167-174.

- Wischmeier, W. H. (1959). *A rainfall erosion index for a Universal Soil Loss Equation*. Soil Sci. Soc. Am. J. 23: 246-249. Washington D.C.
- Wischmeier, W.H. y D.D. Smith. (1978). *Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning*. Agriculture Handbook No. 537. USDA/Science and Education Administration. US. Govt. Printing Office. Washington, DC. 58 pp.
- Z. Flores Emigdio. (1998). *Geosudcalifornia, geografía, agua y ciclones*. Universidad Autónoma de Baja California Sur. México, D.F. 255 pp.
- Zlolniski, C. (2011). *Water flowing north of the border: Export agriculture and water politics in a rural community in Baja California*. University of Texas, Arlington. United States. 45 pp.