





Contrastación de las transformaciones del uso de suelo y su influencia en la sostenibilidad territorial del departamento de Potosí – Bolivia (1992-2016)

Contrasting land use transformations and their influence on the territorial sustainability of the Department of Potosí – Bolivia (1992-2016)

Presentación: 26/07/2023

Aprobación: 23/11/2023

Sandra Marlene Subieta Aracena  orcid.org/0000-0002-5643-7370
Universidad Autónoma Juan Misael Saracho – Bolivia
sandra.subieta@uajms.edu.bo

Mauricio Antonio Romero Subieta  orcid.org/0009-0003-3288-1746
Universidad Autónoma Juan Misael Saracho – Bolivia
e85268@uajms.edu.bo

Resumen

En los últimos años en el departamento de Potosí, con extensión territorial 118.217 Km² se observa un significativo patrón de cambios en las prácticas de uso de suelo, lo que ha provocado un marcado desequilibrio en el desarrollo sostenible de los distintos ecosistemas.

Considerando que el cambio de uso de suelo es una variable para dimensionar la temática territorial-ambiental y su implicancia para la toma de decisiones en la mejora del desarrollo sostenible, se analizó la información de Potosí disponible en el Plan Uso de Suelo (2000) y Plan Departamental de Ordenamiento Territorial (2016), para constatar las transformaciones del uso de suelo y su influencia en la sostenibilidad territorial, haciendo uso del enfoque metodológico Fuerzas motrices–Presiones–Estado–Impactos–Respuesta, con una visión integrada con el principio de causa–efecto, teniendo como resultado que la extensión territorial y la relativa baja densidad de población subestiman los impactos generados por las fuerzas motrices relacionadas con aspectos económicos–poblacionales.

Palabras claves: Transformación, Uso de suelo, Sostenibilidad territorial

Abstract

In recent years in the department of Potosí, with a territorial area of 118,217 km², a significant pattern of changes in land use practices has been observed, which has caused a marked imbalance in the sustainable development of the different ecosystems.

Considering that the change in land use is a variable to dimension the territorial-environmental issue and its implication for decision-making in improving sustainable development, the information for Potosí available in the Land Use Plan (2000) was analyzed and Departmental Territorial Planning Plan (2016), to verify the transformations in land use and its influence on territorial sustainability, using the methodological approach Driving Forces – Pressures – State – Impacts – Response, with a vision integrated with the principle of cause-effect, resulting in the territorial extension and the relative low population density underestimating the impacts generated by the driving forces related to economic-population aspects.

Keywords: Transformation, Land use, Territorial sustainability

Introducción

Diversos son los paisajes que reflejan el patrón de cambio seguido por el uso de suelo en los últimos años, la fuerte fragmentación de los ecosistemas naturales producto de la tensión que plantea la elección entre la necesidad de recursos y espacio que tiene la sociedad y la capacidad del suelo de soportar y absorber tal necesidad, lo que desequilibra sin precedentes el desarrollo sostenible, dada la dimensión global que tiene el uso del suelo (EEA, 2019).

En ese orden es el cambio de uso de suelo -una variable clave para medir con rigor la dimensión territorial-ambiental del modelo de desarrollo- (OSE, 2006), considerando metodologías que permitan evaluar impactos ambientales de manera integral y objetiva, acorde a los indicadores regularmente basados en la cuantificación de los cambios en el medio ambiente, que puedan ser relacionadas directamente con metas y objetivos políticos; estas metodologías muestran implicancias significativas que deben considerarse para su correcta selección con el fin de transmitir coherencia, fiabilidad y transparencia sin ambigüedades, además de poseer una capacidad predictiva y analítica (Wilson & Müller, 2001).

Para ello se hace uso del enfoque metodológico Fuerzas motrices-Presiones-Estado-Impacto-Respuestas (F-P-E-I-R) aplicado al suelo y promovido por la Agencia Europea del Medio Ambiente (AEMA), con una visión integrada siguiendo los principios causa-efecto y considerando el resultado de fuerzas motrices que ejercen presión sobre el entorno (OSE, 2006).

Tal análisis identifica los principales impactos causados en la transformación de la superficie territorial del departamento de Potosí, seleccionando los efectos en el uso del suelo a través de la revisión de los indicadores de impacto, describiendo su particular dinámica territorial y los factores influyentes en los patrones de cambio y cómo estas son delimitadas en el Plan de Uso de Suelo del año 2000 (PLUS-2000) (MDSP, 2000), Plan Departamental de Ordenamiento Territorial del año 2016 (PDOT-2016) (MDS, 2016), y el Censo Poblacional y Vivienda de Bolivia del año 2001 (CPyVB-2001) (INE, 2019) y 2012 (CPyVB-2012) (INE, 2016), siendo parte de un seguimiento integrado de la sostenibilidad de los recursos ambientales y naturales referentes al suelo, atendiendo el apoyo a los procesos de toma de decisiones y gestión territorial. Se cuantifican los cambios de ocupación del suelo, se valora el estado actual y las tendencias en los procesos de desarrollo que afectan a la sostenibilidad del territorio; además de caracterizar las áreas de uso como

resultado final del proceso. Para ello se utilizaron como fuentes de información los resultados recogidos entre los años 2000 y 2016.

Materiales y métodos

En la investigación se utilizó como fuentes de información histórica y reciente resultados alcanzados de los instrumentos de planificación del PLUS-2000 y PDOT-2016. Para ello se optó por una metodología que combina técnicas de recolección, análisis y procesamiento de datos propias de enfoques metodológicos cualitativos y cuantitativos a partir de datos comparables sobre la evolución de la ocupación del suelo, la información obtenida con fuentes estadísticas principalmente de los CPyVB-2001 y CPyVB-2012. Posteriormente, y siguiendo la metodología F-P-E-I-R, se identifican los factores causales, con el fin de evidenciar las relaciones de influencia entre clústeres. Seguidamente se explican las relaciones encontradas y su influencia en el uso de suelo.

Resultados y discusión

Los impactos determinados como relevantes comprenden la dimensión del cambio donde se analizan el estado y evolución de la ocupación del suelo en el departamento de Potosí. Tales impactos comprenden cambios medibles en el estado del suelo directamente imputables a una actuación específica de las causas, en cuanto a los factores de respuesta resalta la planificación del uso de suelo. Para la evaluación y comparación del estado del territorio los factores propuestos fueron descritos y agrupados en cinco clústeres como se muestra en la Tabla 1.

Factor	Siglas y denominación	Definición
Fuerzas motrices	F1 Cambio de Uso del Suelo	Cambio patrón de uso de suelo
	F2 Crecimiento poblacional	Cambios en la población
	F3 Motores socioeconómicos de relevancia	Extensión de la frontera agropecuaria Explotación minera
Presiones	P1 Superficies artificiales	Expansión frontera urbana
	P2 Cobertura de suelo	Caracterizar la relación rural/urbana
Estado	E1 Contaminación local (contaminación minera)	Explotaciones mineras
	E2 Contaminación desechos sólidos	Emplazamientos contaminados por desechos sólidos
	E3 Pérdida de suelos	Suelos erosionados
Impactos	I1 Cambios en tamaño y distribución de población	Densidad y distribución poblacional
	I2 Variabilidad climática	Análisis de sequías y eventos extremos de precipitación (variabilidad)
Respuesta	R1 Desarrollo de estrategias de uso y protección del suelo	Ordenamiento territorial

Tabla 1. Factores relevantes en los cambios de uso de suelo del departamento de Potosí

Fuerza Motrices

El estudio de las fuerzas motrices se enfoca a aquellas que inducen al cambio o proceso que conllevan a presiones sobre el territorio (Massiris, 2005).

- Cambio de Uso del Suelo (F1):

Se analizan los cambios de uso del suelo en el departamento de Potosí a partir de los resultados del PLUS-2000, donde se establece 5 categorías de Uso (A, B, D, E y F) y 15 sub categorías, dentro del marco físico-estructural a una escala 1:250.000 (ZONISIG, 2000), permitiendo realizar

la contrastación con la información generada del PDOT-2016, que realizó un relevamiento con mayor precisión a escala 1:50.000, donde se mantiene las 5 categorías de Uso y se aprecia una transición a 14 sub categorías (véase Tabla 2).

Categoría	Clase	Superficie Km ²		Cambio
		(2000)	(2016)	
A. TIERRAS DE USO AGROPECUARIO INTENSIVO				
A.1	Uso Agrícola Intensivo	99	-	↓
A.1.1	Uso Agrícola Intensivo con Uso ganadero extensivo	-	1.458	↑
A.1.4	Uso agrícola intensivo y protección con uso ganadero extensivo limitado	14	-	↓
A.3	Uso Agropecuario intensivo	-	279,09	
B. TIERRAS DE USO AGROPECUARIO EXTENSIVO				
B.1	Uso agrícola Extensivo	369	14.402	↑
B.1.1	Uso agricultura extensiva con rehabilitación de la vegetación y/o suelo	-	18.702	↓
B.2	Uso ganadero extensivo	18.669	8.203	↓
B.2.1	Uso Ganadero Extensivo y uso agropecuario extensivo	1.805	11.321	↑
B.2.2.	Uso Ganadero Extensivo con Rehabilitación de la vegetación y/o suelo	-	16.104	↑
B.3	Uso Agropecuario Extensivo	8.998	1.635	↓
B.3.1	Uso agropecuario extensivo y uso agrícola intensivo	93	-	↓
D. TIERRAS DE USO FORESTAL				
D.3.1	Rehabilitación de vegetación y/o suelo con uso agropecuario extensivo	384	1.750	↑
E. IERRAS DE PROTECCIÓN CON USO RESTRINGIDO				
E.1	Protección con uso ganadero extensivo limitado	37.337	-	↓
E.1.1	Protección con uso ganadero extensivo limitado y uso agropecuario extensivo	8.209	-	↓
E.2	Protección con uso agropecuario extensivo limitado	12.189	-	↓
E.2.3	Protección con uso agropecuario extensivo limitado y uso agropecuario extensivo	1.458	-	↓
E.7	Protección	11.284	12.060	↑
E.7.2	Protección con Uso agropecuario intensivo	-	367	↑
E.7.3	Protección con Uso agropecuario extensivo	-	14.626	↑
F. AREAS PROTEGIDAS				
F.1	Parque Nacional "Toro Toro"	165	165	=
F.4	Reserva Nacional de Fauna Andina "Eduardo Abaroa"	7.147	7.147	=
SALAR DE UYUNI		9.997	9.997	=
TOTAL		118.217	118.217	

Tabla 2. Cambio en el uso de suelo para el periodo 2000 – 2016

En este sentido con la información disponible del departamento de Potosí en el PLUS-2000 y PDOT-2016 se examina el comportamiento de las subcategorías de cobertura-uso, considerando el área y porcentaje cobertura en clases generalizadas para cada tiempo (véase Figura 1 y Figura 2).

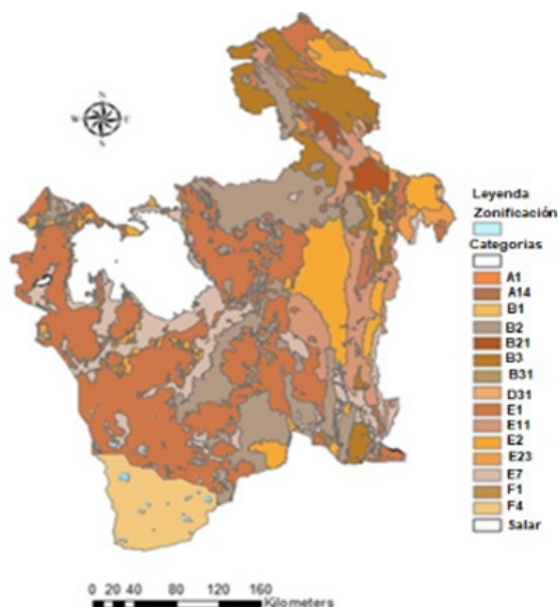


Figura 1. Categorías de Uso de Suelo PLUS-2000

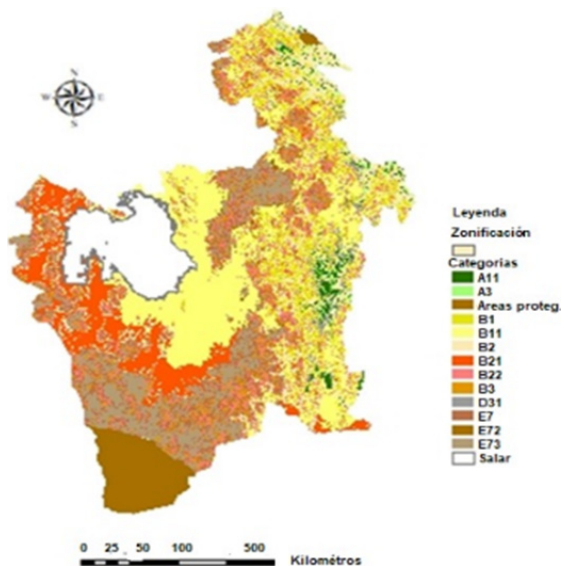


Figura 2. Categorías de Uso de Suelo PDOT-2016

La Figura 3, establece una comparación durante el periodo 2000 – 2016, que muestra cambios producidos en el uso del suelo, con diferencias significativas donde se priorizan categorías de tierras con uso agropecuario extensivo y ligeramente tierras de uso agropecuario intensivo advirtiendo una notable disminución de uso en tierras de protección con uso restringido, lo que es acorde principalmente con la extensa superficie

territorial y las características biofísicas del departamento de Potosí, otorgándole importancia a un elemento como es la aptitud del suelo y su incidencia en la función económica territorial.

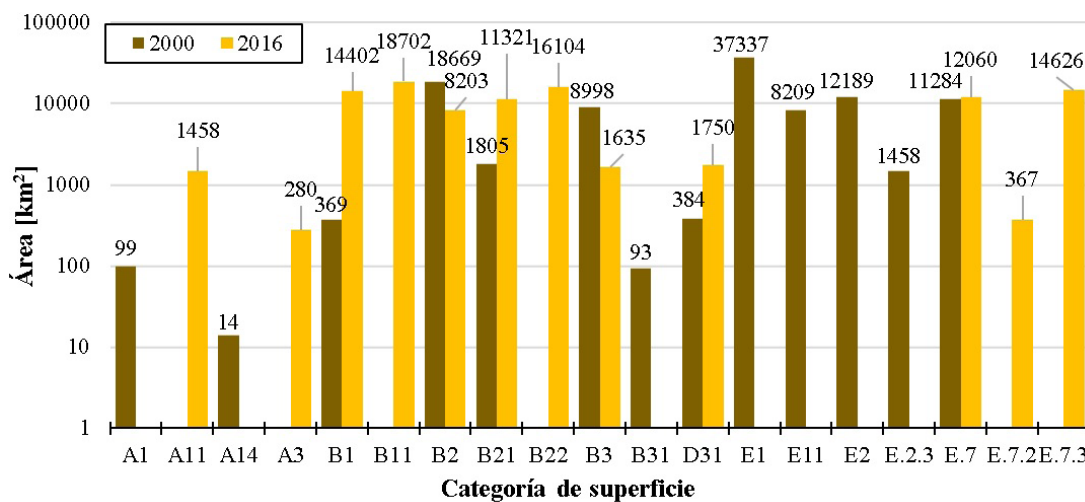


Figura 3. Comparación de las superficies entre PLUS-2000 y PDOT-2016

- Crecimiento poblacional (F2):

Uno de los factores del análisis sobre las modificaciones territoriales es impulsado por el dinamismo de sus economías y su población, tal como manifiesta (Mazurek, 2009) *“al igual que los asentamientos humanos y actividades sociales todos los sectores productivos y de servicios necesitan del factor suelo como base”*. En la Figura 4 se muestra la influencia significativa sobre patrones de consumo, que da como resultante un vector de presión sobre el territorio, se observa que para el año 2012 existe un incremento en concentraciones mayores a 40.000 habitantes en los municipios, que pasa del 7,5% (1992) a 10 % (2012) con lo que se ampliaron las coberturas de servicios públicos y accesibilidad a los centros poblados.

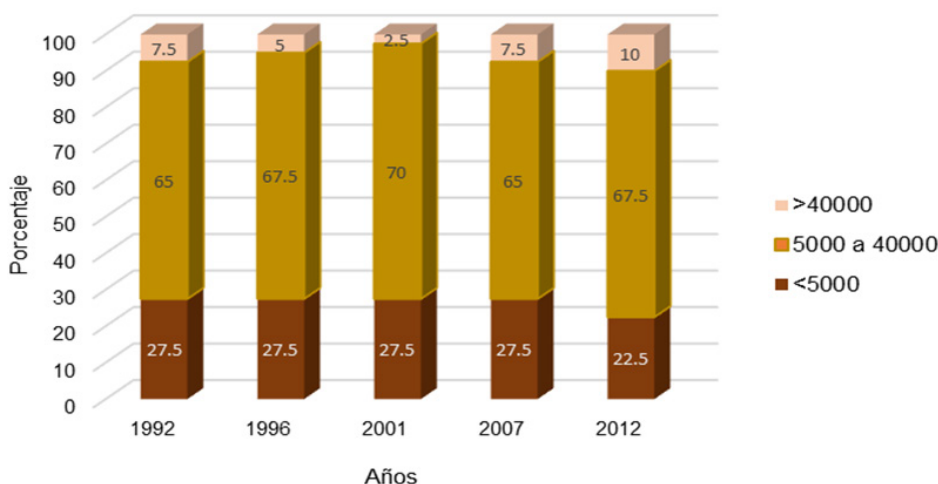


Figura 4. Población por tamaño municipal 2000 - 2016

- Motores socioeconómicos de mayor relevancia (F3):

La interacción entre las actividades productivas y el suelo tiene impactos decisivos sobre el territorio específicamente sobre las transformaciones y dinámica socioeconómica (Garraín, 2009). Por ello se consideraron sólo las actividades económicas de mayor importancia en el departamento de Potosí.

Actividad agropecuaria:

En el caso de Potosí se observó que los municipios con mayor extensión territorial y con tierras aptas para el desarrollo agropecuario son Uyuni, Puna, Colquechaca, Tinquipaya, Llica, Colcha “K” y Tupiza, sin embargo, se deben enfrentar a factores climatológicos, sobrepastoreo, erosión, manejo adecuado de suelos y terrenos agrícolas, (véase Figura 5).

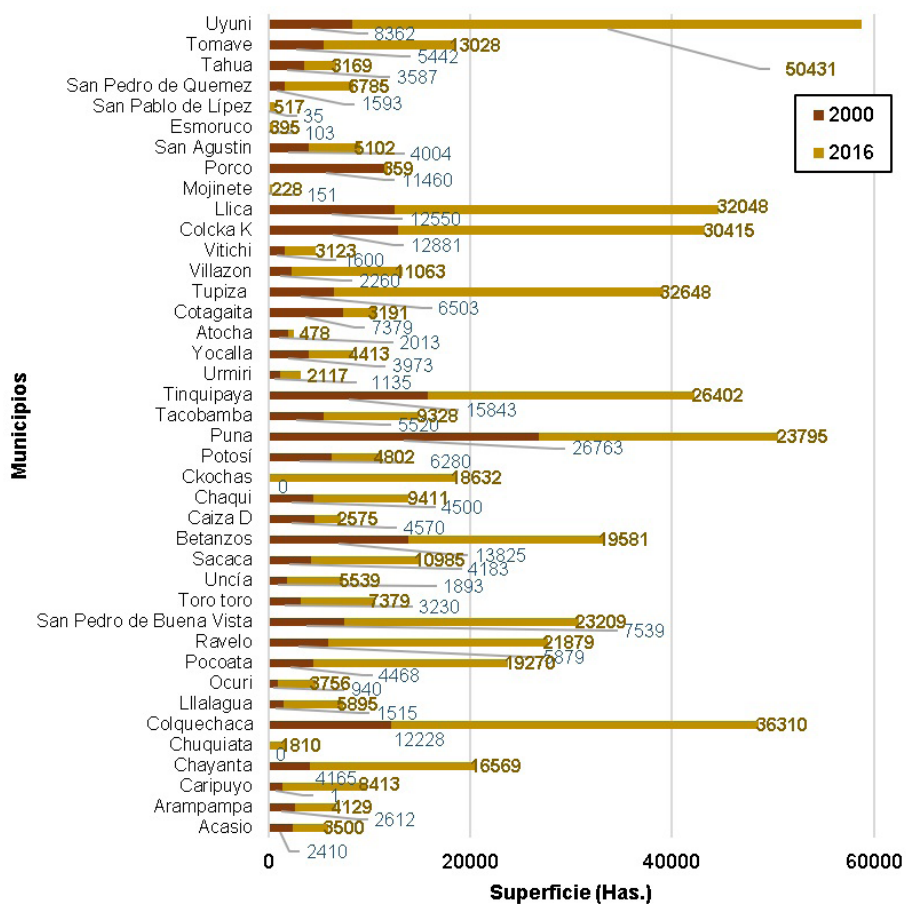


Figura 5. Áreas con vocación agropecuaria en el departamento de Potosí (2000 - 2016)

Explotación minera:

La minería es la mayor industria extractiva en el departamento de Potosí, son importantes y variados los yacimientos de minerales metálicos comercialmente explotables, así mismo existen grandes volúmenes de minerales no metálicos de caliza, mármol, yeso, arcillas, sílice, sal, litio, boro y potasio. Aproximadamente el 9% de la extensión del territorio departamental corresponde a concesiones mineras que representan un total de 9.846 km²

siendo la principal concesionaria la Corporación Minera de Bolivia (COMIBOL), seguido de empresas privadas y en menor proporción cooperativas mineras individuales.

Con relación a los aspectos ambientales, se tiene que un 20 % de las concesiones mineras ocupan 1.897 km², dentro de áreas protegidas (véase Figura 6), lo que pone en riesgo el carácter exclusivo de manejo, protección y conservación de la biodiversidad de estas zonas, según PDOT-2016. El colapso de las minas subterráneas también puede conducir a problemas como el hundimiento (Cerro Rico de Potosí), la erosión del suelo y contaminación de los recursos hídricos. La extracción de minerales de alto valor genera grandes cantidades de residuos (dique de colas) lo que causa sedimentación de masas de agua, drenaje ácido de la mina y lixiviación de minerales tóxicos.

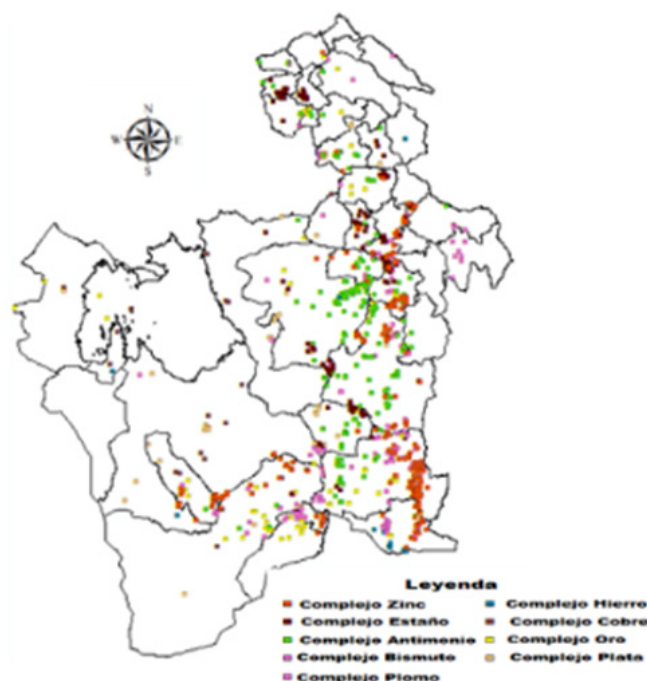


Figura 6. Yacimientos mineralógicos en el departamento de Potosí.

Presiones

A partir de las fuerzas motrices anteriormente configuradas en datos organizados de distintos sectores y recursos, se toma en cuenta indicadores de presión que determinan la relación causal y efectos del cambio de uso de suelo en el departamento de Potosí.

- Área artificial (P1)

El departamento de Potosí en el tiempo ha experimentado cambios en la naturalidad de su territorio, obligado por la concentración paulatina de la población en las ciudades intermedias y simultáneo abandono de los espacios rurales intensificándose más aún a partir del año 1982, lo que motivó a cambios en la artificialización del suelo que marca una tendencia importante en las transformaciones del uso del suelo y ocupación del territorio, para este análisis se asumieron criterios tradicionales originados por la densidad demográfica como -dimensión diferenciadora en la dicotomía urbano/rural. Bolivia es uno de los países

latinoamericanos que define el espacio urbano a partir de la concentración >2000 habitantes en una unidad espacial-geográfica y lo rural a < 2000 habitantes no aglomerados en una determinada unidad espacial geográfica (Heredia, 2014), para el nivel de urbanización se clasifica según Tabla 3.

Categoría	Población urbana en 2000 habitantes
Transición urbana avanzada	80% o más
Plena transición urbana	70% - 80%
Transición urbana moderada	50% - 70%
Transición urbana rezagada	menos del 50%

Tabla 3. Niveles de urbanización en ciudades >2000 habitantes, según (Caribe, 2002).

El departamento de Potosí desde el año 1950 conserva una predominancia del área rural, debido a la extensa superficie territorial que posee y la actividad minera, que mantiene una población flotante, donde los procesos de urbanización fueron acelerados en ciudades intermedias y la capital departamental pudiendo reflejarse una transición urbana rezagada con un 59,4% rural y 40,6% urbana del total de su población (MPD, 2016). La tasa anual de crecimiento de la población total departamental en el periodo intercensal 2001-2012 refleja un valor por debajo del nivel nacional (1.7), sin embargo, se reconoce nítidamente un crecimiento lento de 0,4 del área rural y 3 del área urbana (INE, 2016). Potosí durante el periodo intercensal mantuvo el menor incremento de número de viviendas particulares a nivel nacional con 26,2%, este hecho acrecienta el déficit habitacional en el departamento (véase Figura 7)

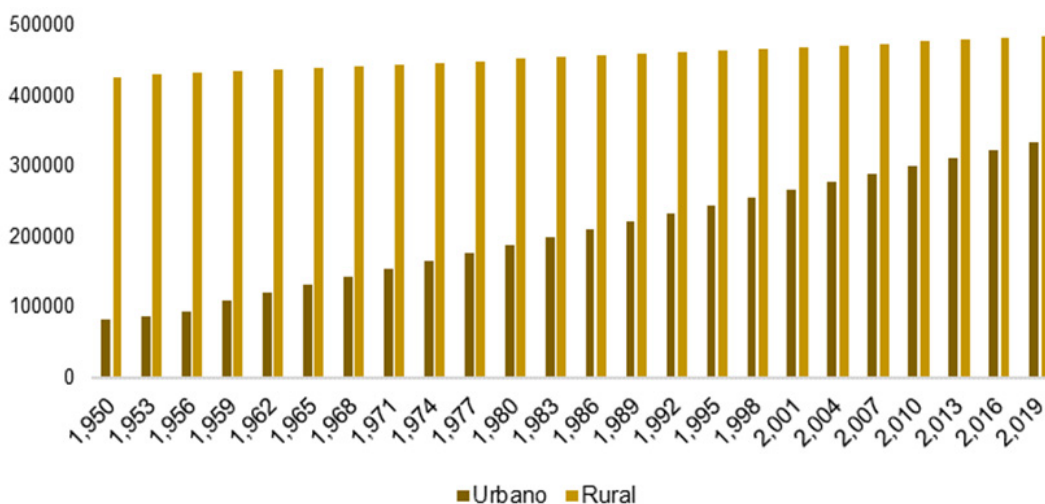


Figura 7. Evolución de la población por área en el departamento de Potosí entre 1950 – 2019.

- Cobertura de suelo (P2)

El criterio de cobertura del suelo se asocia a cambios que se experimenta en el tiempo en un espacio geográfico, es decir la relación entre usos de suelo y efectos ambientales de intensificación en la producción agrícola comercial y el abandono de tierras de cultivo, los que inciden en la sostenibilidad medioambiental (FAO, 2006). En ese orden para caracterizar la relación rural/urbana originada de la intervención humana y los cambios asociados sobre ocupación del suelo, con el uso de la metodología del Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo de España (SIOSE) definida en la versión 2011, se recogen criterios demográficos convenientemente combinados, usos de suelos y accesibilidad con detalle a la relación de la intervención humana para establecer una tipología siguiendo la siguiente regla general (véase Figura 8).

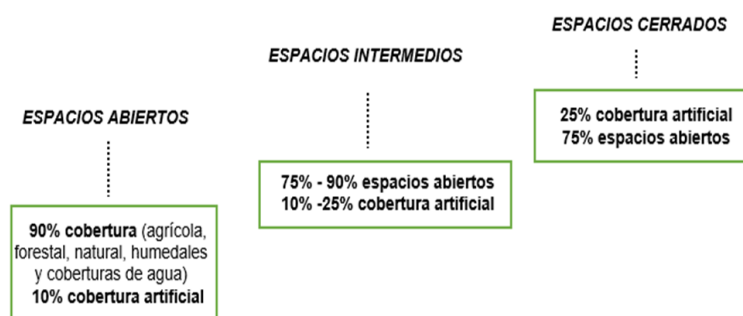


Figura 8. Regla general para establecer tipologías espacios abiertos, cerrados e intermedios.

Con la aplicación de la regla antes mencionada y según tipología establecida, a partir de los datos del PDOT-2016 y en contraste con la información del CPyVB-2012 de la población urbana/rural del departamento de Potosí, se clasifican los municipios en espacios: abiertos, cerrados e intermedios con relación a la proporción de su superficie territorial, permitiendo develar la importancia de los usos de suelo y los cambios que experimentó con el tiempo.

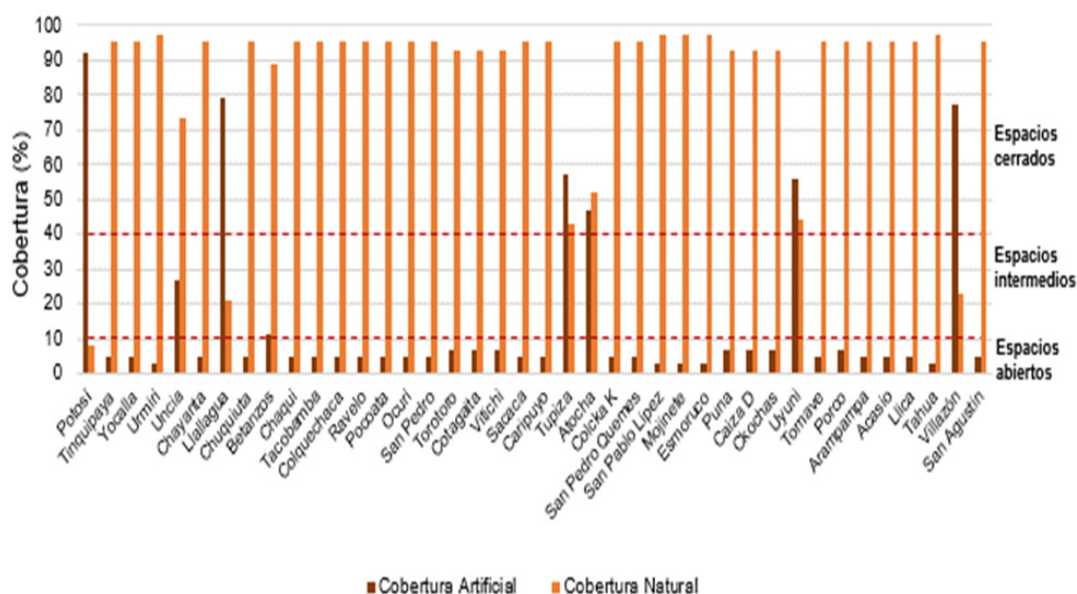


Figura 9. Municipios en espacios abiertos, intermedios y cerrados del departamento de Potosí.

En la Figura 9 se muestra que en el territorio departamental de Potosí los «espacios abiertos» cubren la mayor parte significando (81%) que corresponde a 87.538 km², englobando el 82,5% de los municipios y alcanzando solo el 38% del total de la población potosina; los municipios en «espacios intermedios» cubren una mínima parte del territorio (1%) equivalente a 902,5 km², implica un porcentaje muy bajo de municipio (2,5%) y habitando el 2,7% de la población; mientras que los municipios en «espacios cerrados» abarcan el 18% representa 20.257 km² concentrando cerca del 23% de la población departamental.

Estado

Los indicadores de estado permiten evaluar la situación en un momento dado en un lugar predeterminado (Diego & Barrio, 2008). Para la interpretación del problema o estado en el que se encuentra el suelo con relación a la función que cumple, asociado a las presiones responsables de las múltiples alteraciones, se considera para el departamento de Potosí, factores atribuibles como: los emplazamientos contaminados y erosión a continuación descritas:

- Emplazamientos contaminados (E1)

En este punto se expone a la contaminación como el factor que más afecta a la pérdida del suelo considerando que los contaminantes pueden alcanzar determinados receptores produciendo efectos adversos en los mismos, es decir altera las funciones ecológicas del suelo.

A menudo se distingue entre la contaminación edáfica proveniente de fuentes claramente delimitadas (contaminación local o puntual) y la causada por fuentes difusas (FAO, 2006). Para la valoración de la contaminación del suelo en el estudio se consideró la contaminación local puntual (lugares o emplazamientos contaminados), véase Figura 10.



Figura 10. Contaminación del suelo (contaminación local).

Dada la relación estrecha que tiene la problemática de la contaminación con el desarrollo de la actividad minera como motor socioeconómico en el departamento de Potosí y la presión que ejerce sobre el suelo se toma en cuenta el análisis respecto a la intensidad de la actividad minera y grado de contaminación tanto en funcionamiento como tras su cierre de los yacimientos mineralógicos y los efectos concomitantes del mismo.

Para evaluar el grado de contaminación que ha sufrido el territorio potosino, originado por las explotaciones mineras y la generación de residuos principalmente se señalan los criterios utilizados en la definición a través del mapa del indicador de estado (semáforo de símbolos) con representaciones de afectación territorial departamental y reflejados en la figura 11, donde el color rojo denota los municipios considerados con alto grado de

contaminación por tener mayor concentración de explotaciones mineralógicas, así como por efectos que causa siendo estos: Potosí, Atocha, Tupiza, Llallagua, Chiquiuta, Tomave, Colquechaca, Cotagaita, Tinquipaya, Ckochas, Caiza “D”, San Pablo de López, Tacobamba, Mojinete, Villazon Porco, San Agustín, Uyuni y Colcha “K. Una contaminación minera mayor tiene la ciudad de Potosí originada por la actividad de ingenios mineros, los mismos que se encuentran ubicados en la mancha urbana.

El color amarillo muestra municipios reconocidos con una contaminación media, que mantienen parcialmente instalaciones mineras en actividad, no obstante, son afectados por la actividad de otros centros mineros, como: Vitichi, Betanzos, Chaqui Chayanta, Ocuri, Caripuyo, Llica, Yocalla, Ravelo y Toro Toro.

Finalmente, el color verde demarca municipios con baja contaminación minera debido a la escasez de yacimientos mineralógicos y los bajos efectos que éstas causan: San Pedro de Quemes, Belén de Urmiri, Tahua, Arampampa, Acacio, Puna y Sacaca.

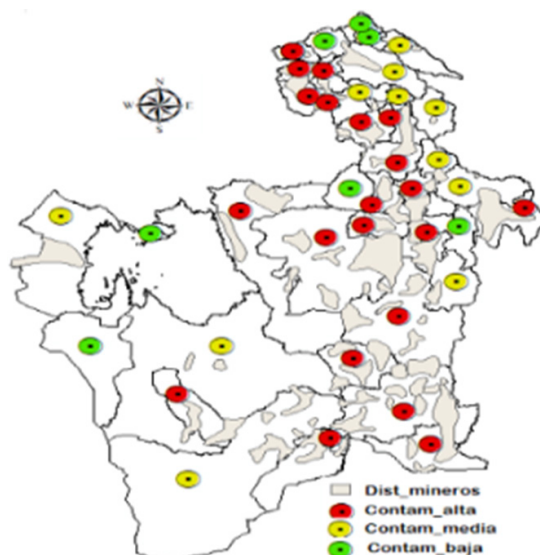


Figura 11. Contaminación minera en la superficie territorial del departamento de Potosí

- Contaminación residuos sólidos (E2)

Las presiones en el suelo emergen con la concentración de población y múltiples actividades de los sectores económicos en espacios limitados, además de los efectos generados por el cambio climático y los usos del suelo (AEMA, 2001). Esto se ahonda cuando la basura no es recolectada, tratada y eliminada de forma adecuada causando daños irreversibles al suelo, para comprender esa dependencia se toma en cuenta la contaminación de residuos sólidos como indicador de estado y las variables sugeridas de generación de desechos sólidos, disposición de desechos sólidos y número de viviendas con servicios de recolección de desechos sólidos (Hardelin, 2013).

En la Figura 12 se muestra el análisis correspondiente a los centros urbanos del departamento de Potosí que han sido “categorizados” en función a rangos poblacionales del área urbana a través de la información disponible en el Diagnóstico de la Gestión de Residuos Sólidos del Departamento de Potosí (2011) y CPyVB-2012.

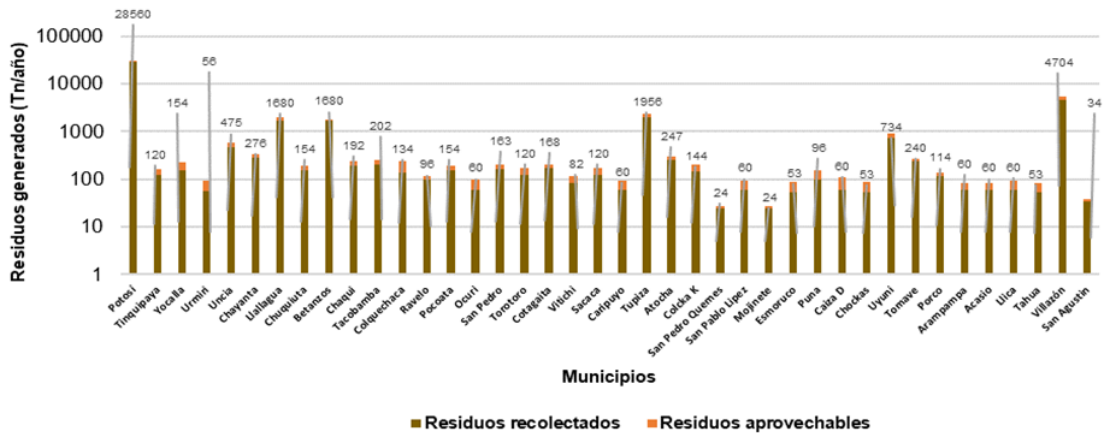


Figura 12. Generación de residuos sólidos a nivel municipal

Se infiere que las ciudades generadoras de mayor cantidad de residuos sólidos son la ciudad de Potosí (28.560 Tn/año), Villazón (4.704 Tn/año), Tupiza (1.956 Tn/año), Chayanta y Betanzos (1.680 Tn/año) y Uyuni (734 Tn/año), los resultados expresan la concentración de población y la actividad económica que desarrollan (principalmente comercial), entrañando una estimación promedio a nivel departamental de 1.060 Tn/año de residuos sólidos producidos.

Cada una de las capitales municipales cuenta con los servicios de recolección, transporte y barrido, por lo general la cobertura de estos servicios alcanza las zonas próximas al centro urbano, exceptuando la ciudad de Potosí, que obedece a diseños de rutas. En promedio, se estima que su cobertura en zonas urbanas alcanza 71% en la ciudad de Potosí, 72% en ciudades intermedias y 64% en ciudades menores.

- Erosión (E3)

La erosión altera la estructura del suelo (aproximadamente 85%) y se convierte en una de las principales amenazas a escala mundial para la sostenibilidad de los ecosistemas agrícolas, capacidad productiva del suelo y la seguridad alimentaria (Gaitán, 2017).

Para el análisis se localizó las zonas problemáticas por la erosión en el departamento de Potosí según la información PDOT-2016 (véase Figura 13) se obtuvieron los siguientes resultados sobre las superficies bajo riesgo de erosión: el 5% de la superficie sufre procesos erosivos muy fuertes centrándose en la zona norte, se estima que el 32% presenta depresiones de pendientes pronunciadas con un porcentaje de pérdida en el suelo (40 cm de profundidad).

Por otro lado, el 21% de la superficie manifiesta un escarpe fuerte y se denota mayor incidencia en la zona sud encontrándose en áreas de topografía accidentada equivalente a un 41%. Así mismo el 14% de la superficie con riesgo de erosión presenta una categoría de moderada, estas áreas se encuentran en zonas ligeramente inclinadas que corresponde a la región centro con el 38%, finalmente se tiene la erosión nula o ligera 60% con una representación mayor en las vastas planicies de la zona sud oeste alcanzando 83,5%.

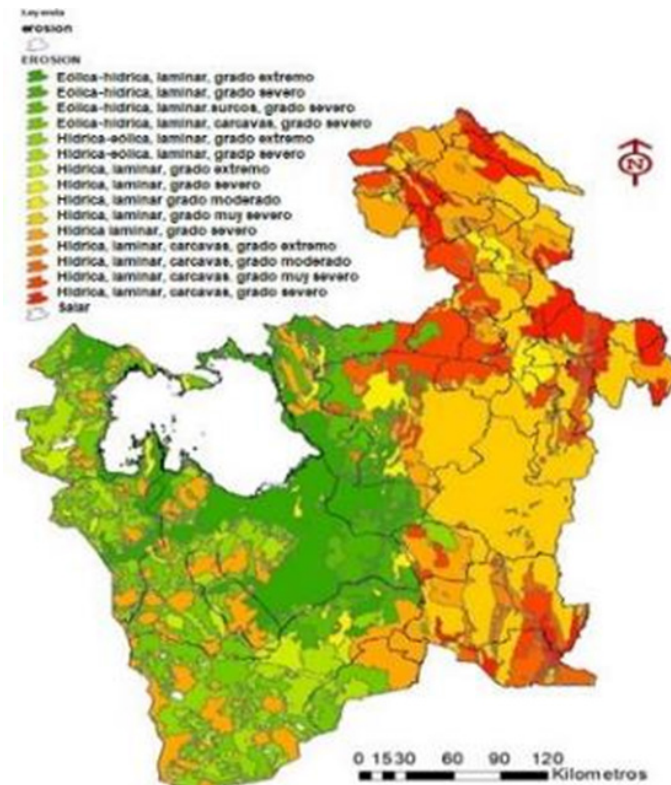


Figura 13. Riesgos de erosión en el departamento de Potosí

Para cuantificar las pérdidas ocasionadas por los procesos erosivos que se acentúan en la superficie territorial se realizó el análisis a gran escala de los sectores más susceptibles a la erosión en el departamento de Potosí, sus valores porcentuales y en superficie se presentan en la Figura 14.

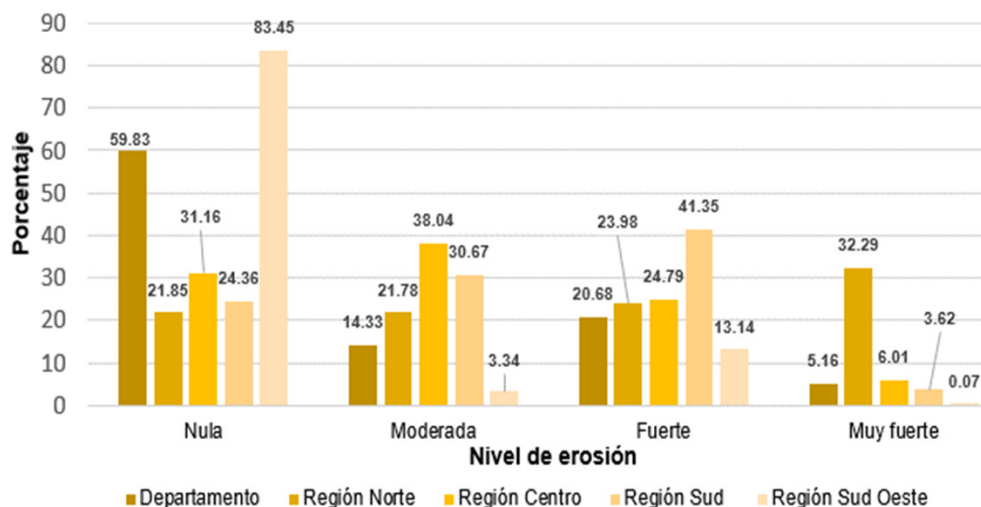


Figura 14. Niveles de erosión por regiones del departamento de Potosí

Impactos

En referencia a los indicadores de impacto relacionados con los cambios en el uso de los suelos sostiene la posibilidad de definir el vínculo entre los cambios de un determinado indicador y el efecto sobre la función correspondiente (Reig, E., Goerlich F.J. & Cantarino, I., 2016).

- Densidad poblacional (I1)

Conocer la dinámica poblacional supone el análisis de los cambios en la composición de población respecto al territorio y permite prever sus consecuencias, aunque no solamente el tamaño absoluto de población es un elemento determinante en la estructuración del territorio, considerándose la densidad poblacional una variable para interpretar la difusa proporción de la población urbana, por ello con los datos del INE, 2012 y PDOT, 2016 se constata que Potosí es uno de los departamentos con mayor densidad de población.

La Figura 15 muestra la evolución de la densidad poblacional, periodo 1992– 2012, donde se observa que la ciudad de Potosí presenta alta densidad poblacional, Llallagua es otro municipio que experimento un crecimiento debido al incremento de la actividad minera. Ligeramente los municipios que alcanzan una densidad poblacional media son los de Puna, Uncia, Chayanta. Los municipios de Villazón, Uyuni y Tupiza lograron un crecimiento significativo en su población debido al intercambio comercial que se produce en estas ciudades, no obstante, permanecen en la categoría de baja densidad poblacional. En los municipios de San Pablo de López, Mojinete y Esmoruco se registran la menor densidad poblacional de 0,31 habitantes/km², dada la extensa superficie territorial y la baja población; además de un clima adverso y una dinámica económica estancada.

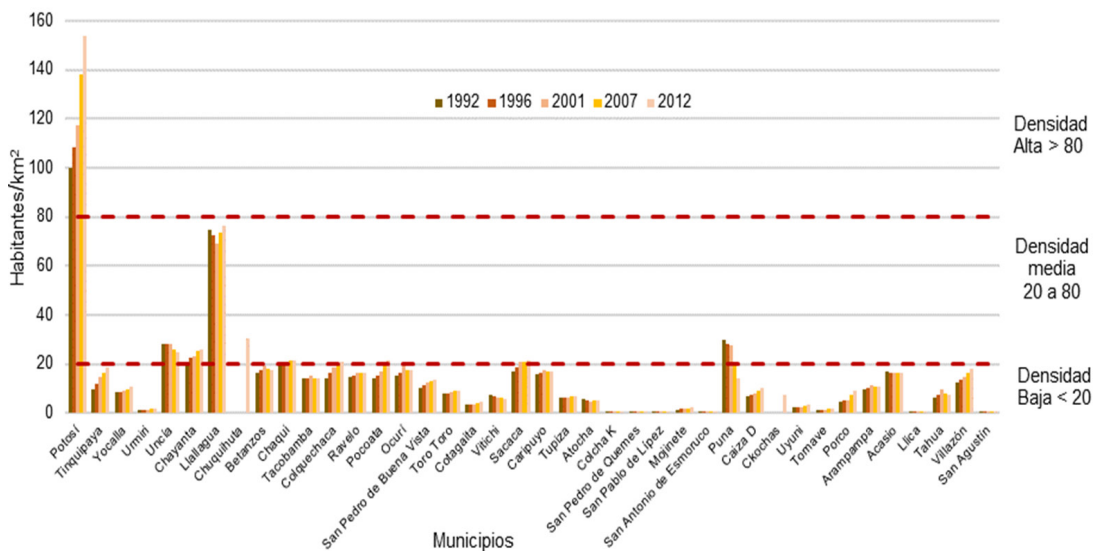


Figura 15. Densidad poblacional departamento de Potosí (1992 – 2012).

- Variabilidad climática (I2)

La variabilidad climática es uno de los elementos clave para comprender el funcionamiento de los sistemas naturales y su impacto sobre las actividades humanas, se observa

que existe una relación entre la disminución de la precipitación versus la disminución del área cultivada. En contraposición, cuando la precipitación fue mayor, se observó un aumento del área de montes abiertos con suelos propensos a la erosión eólica (Ferrelli, 2016).

A partir de los datos de precipitación del Balance Hídrico de Bolivia (1980-2016) se observan la Figura 16, Figura 17 y Figura 18 donde se muestra la serie de precipitaciones diarias promediadas en todo el departamento de Potosí.

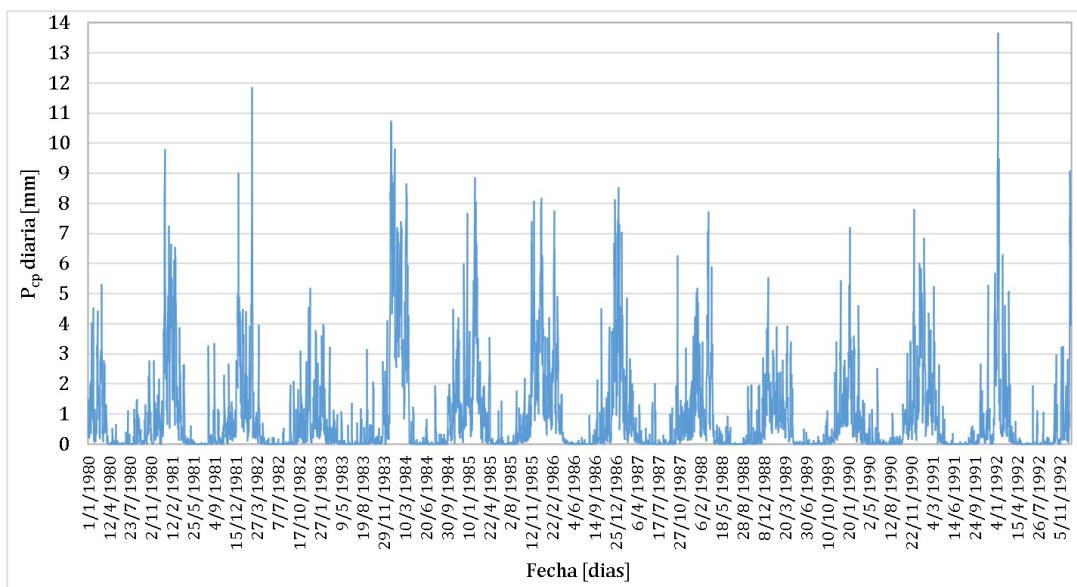


Figura 16. Precipitaciones diarias, Departamento de Potosí (1980 - 1992)

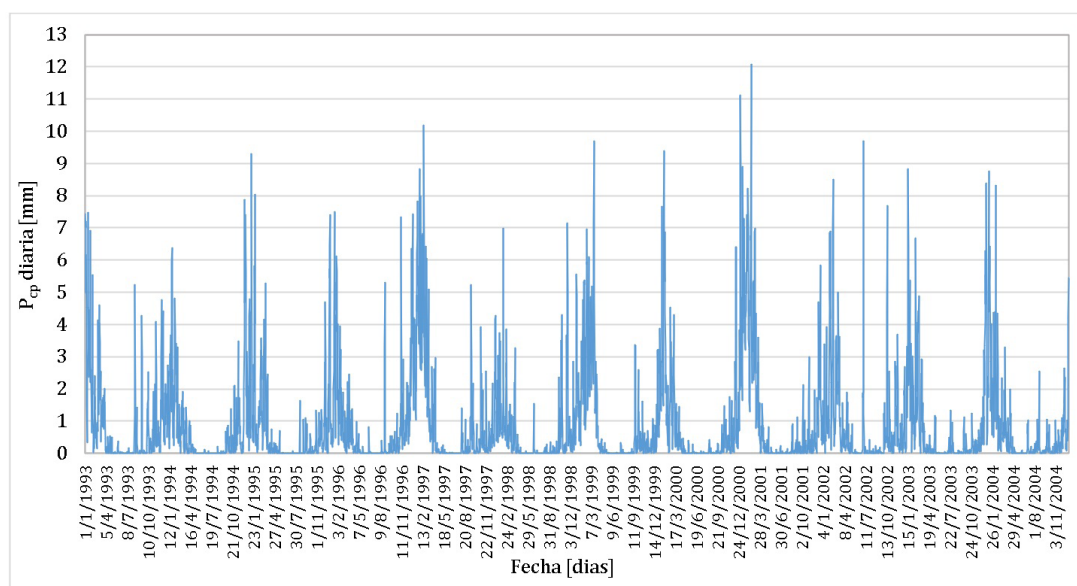


Figura 17. Precipitaciones diarias, Departamento de Potosí (1993 - 2004)

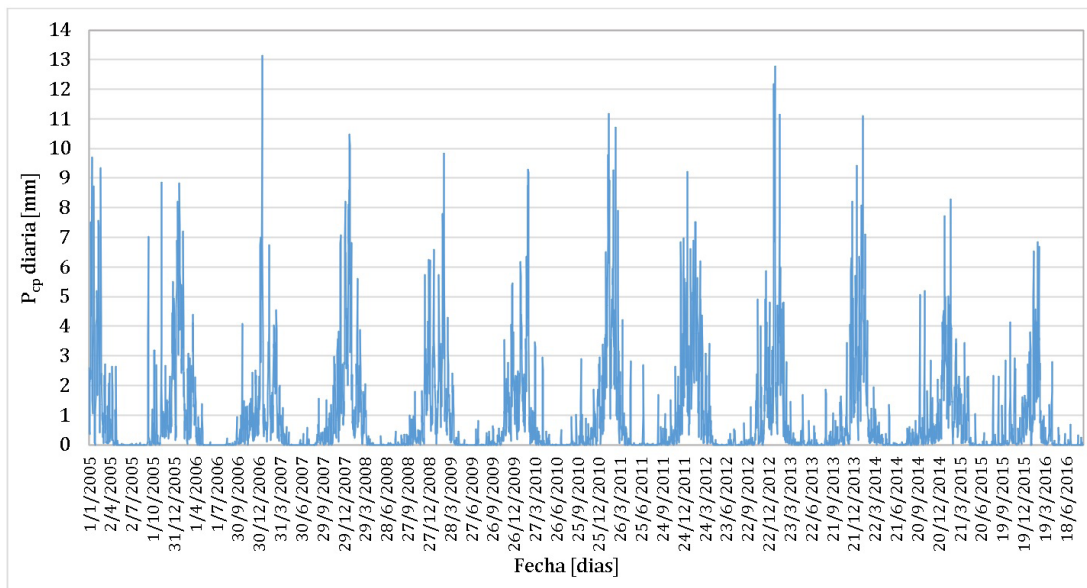


Figura 18. Precipitaciones diarias, Departamento de Potosí (2005 – 2016)

En la variación de la precipitación diaria a lo largo de los años analizados, se observan fenómenos particulares de sequía histórica que requieren un análisis particular, por ejemplo :

- Las sequías históricas en los años 1982-1983, 1988-1989 reportan lluvias máximas que no lograron alcanzar los 6 mm.
- En el año 2016 se representa la sequía más reciente presentada en Potosí donde la lluvia máxima presentada es menor a los 7 mm.
- Para los años 1991, 1994, 1999, 2005, 2006 y 2012 se puede apreciar los mínimos históricos donde hubo una sequía a nivel mensual (≈ 0 mm de precipitación) entre los meses de marzo y septiembre.
- La lluvia puntual máxima presentada en todo el periodo de análisis es de 13,66 mm presentada el día 13/1/1992 para todo el departamento de Potosí.
- Las lluvias máximas diarias más representativas corresponden a las fechas de 13/1/1992, 14/1/1992, 14/1/2007, 19/1/2013, 18/1/2013, 14/1/2013 y 17/2/2001 respectivamente, todas mayores a los 12 mm.

Con los resultados obtenidos sobre la variación pluviométrica se infiere que la alternancia de períodos secos y húmedos genera una transformación de las coberturas del suelo, causando la reducción del bosque nativo, pérdida de biodiversidad y generación de áreas expuestas a procesos erosivos. Además, hay evidencias de que los rendimientos y el porcentaje de área sembrada mantienen una estrecha relación con la cantidad de precipitación.

Respuesta

Si se analiza la dinámica de los cambios en los patrones de uso del suelo producidos por las actividades socioeconómicas con relación a las alteraciones sobre las funciones del suelo, resulta posible evaluar las implicancias de las diversas políticas territoriales para atender los desafíos

de la planificación territorial (Gudiño, 2015). En cuanto a la expresión de los indicadores de respuesta, se considera que el Plan de Ordenamiento Territorial se convierte en el indicador de respuesta más relevante en los diferentes niveles territoriales.

- Plan de Ordenamiento Territorial (R1)

El Ordenamiento Territorial, es un proceso continuo y dinámico en la toma de decisiones sobre el uso del suelo, se convierte en el instrumento de respuesta que atiende a problemas específicos de la planificación, administración y manejo territorial, cada vez más requiere de un diseño eficiente de políticas de desarrollo que repercutan sobre el bienestar de las sociedades humanas.

El ordenamiento se concreta en planes que expresan el modelo territorial de largo plazo que se pretende alcanzar y las estrategias mediante las cuales llegar al modelo propuesto. Lleva consigo un carácter prospectivo, es decir son políticas para construir espacios, formas de vida, de ocupación y de uso de los territorios en el largo plazo (Márquez & Veloso, 2020).

Dadas las connotaciones del Ordenamiento Territorial en el departamento de Potosí, se han realizado diferentes intentos por delinear políticas sobre el uso de suelo, es así que se pone en marcha en el año 1998 la zonificación agroecológica y socioeconómica del departamento y la posterior aprobación del PLUS-2000, a nivel municipal el año 2001 se formula y aprueba el Plan Municipal de Ordenamiento Territorial (PMOT) Municipal de Puna (municipio piloto), para después construir los PMOT de Betanzos, Chaquí y Tomave (2003), posteriormente Llallagua y Chayanta (2014) y finalmente Villazon (2018). A nivel departamental fue aprobado el PDOT el año 2016.

Conclusión

La evaluación de las transformaciones del uso de suelo y su influencia en la sostenibilidad territorial del departamento de Potosí y sus 41 municipios con la aplicación del esquema FPEIR se fundamenta en las diversas presiones que directa o indirectamente ejercen las actividades humanas sobre el suelo, revelando claramente relaciones de causa – efecto, donde la sociedad debe responder a esos cambios a través de políticas ambientales, sectoriales y económicas,

A partir de los resultados generados por PLUS, 2000 y PDOT, 2016, se integró la relación de los elementos de la metodología planteada. Las categorías y sub categorías han sido especificadas en la descripción de la fuerzas motrices por lo que se constata que a nivel departamental, Potosí ha sufrido transformaciones en el uso de suelo a causas directamente imputables a la actuación específica del crecimiento poblacional y los motores socioeconómicos; siendo estos los que ejercen presión en el ambiente y se manifiestan a través del acelerado incremento de superficies artificiales, construcciones y la alteración de la cobertura del suelo. Estas connotaciones en el territorio potosino tienen consecuencias en la distribución no homogénea de la población provocando la existencia de poblaciones dispersas con bajo acceso a servicios, ahondando esta situación la contaminación ambiental.

Es innegable que todo esto es conducente a impactos en la degradación de suelo y variabilidad climática, por ello urge una respuesta mediante el diseño de políticas de protección del suelo con perspectiva territorial.

Finalmente se debe tener presente como resultado de la investigación que en el departamento de Potosí la extensión territorial y la relativa baja densidad de población subestiman los impactos generados por las fuerzas motrices relacionadas con aspectos económicos – poblacionales.

Referencias

- Agencia Europea de Medio Ambiente e Información Ambiental. (2001). *El Medio Ambiente en Europa: segunda evaluación*. Capítulo 11. Degradación del suelo. 36 pp. Conpenhagen, Dinamarca.
- Caribe, C. E. para A. L. y el. (2002). *Urbanización, redistribución espacial de la población y transformaciones socioeconómicas en América Latina*. In www.cepal.org. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/7168-urbanizacion-redistribucion-espacial-la-poblacion-transformaciones>.
- Diego, A., & Barrio, M. (2008). *Libro Verde sobre la cohesión territorial Convertir la diversidad territorial en un punto fuerte*. Secretaría General de Planificación y Desarrollo Territorial Consejería de Vivienda y Ordenación del Territorio, junta de Andalucía. Andalucía, España.
- European Enviroment Agency. (2019). *El suelo, la tierra y el cambio climático*. Ciudad de Luxemburgo, Luxemburgo.
- INE (Instituto Nacional de Estadística de Bolivia). (2012). *Resultados del Censo de población y vivienda*. La Paz, Bolivia.
- INE (Instituto Nacional de Estadística de Bolivia). (2016). *Censo de población y vivienda - Característica de la población del año 2012*. La Paz, Bolivia.
- INE (Instituto Nacional de Estadística de Bolivia). (2019). *Bolivia – Encuesta de hogares 2019*. La Paz, Bolivia.
- Ferrelli, F. (2016). *Análisis del clima local y micro-local de la ciudad de Bahía Blanca, Argentina*. Buenos Aires, Argentina.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2006). *State of the world's forest*. Ed. FAO Information Division. Roma, Italia.
- Garraín, D. (2009). *Desarrollo y aplicación de las categorías de impacto ambiental de ruido y de uso de suelo en la metodología análisis de ciclo de vida*, Ed. Castello. Castilla, España.
- Gaitán, J. (2017). *Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la República Argentina*, Ed. INTA Ediciones. Buenos Aires, Argentina.
- Gudiño, M. (2015). *El Ordenamiento Territorial como política de Estado*. Perspectiva Geográfica, 20(1), 11-36.
- Gobierno Municipal de Villazón (2018). *Plan Municipal de Ordenamiento Territorial – PMOT*, municipio de Villazón. Villazón, Bolivia.
- Hardelin, J. (2013). *Environmental Performance of Agriculture in OECD Countries*. EuroChoices, 12(3), 30–31. <https://doi.org/10.1111/1746-692x.12037>
- Heredia, F. (2014). *Lo urbano rural en la estadística del Estado Plurinacional de Bolivia*. Unidad de Acción Política de CIPCA.

- Márquez, M. & Veloso, E (2020). *El ordenamiento territorial en Chile: estado del arte*, Ed. Revista. Santiago, Chile.
- Massiris, Á. (2005). *Fundamentos Conceptuales y metodológicos del Ordenamiento Territorial*, Ed. Universidad Pedagógica y Tecnología de Colombia. Bogotá, Colombia.
- Mazurek, H. (2009). *Espacio y territorio*. Instrumentos metodológicos de investigación social. Serie Metodológica, Ed. Universidad de Postgrado para la Investigación Estratégica en Bolivia. La Paz, Bolivia.
- Ministerio de Medio Ambiente y Agua. (2011). *Diagnóstico de la Gestión de Residuos Sólidos en el Departamento de Potosí*. MMAyA/VAPSB/DGGIRS/Diagnóstico de la Gestión de Residuos Sólidos en el departamento de Potosí. La Paz, Bolivia.
- Ministerio de Desarrollo Sostenible. (2016). *Plan Departamental de Ordenamiento Territorial, Potosí 2015 – 2035 (PDOT-2016)*. Ed. Ministerio de Desarrollo sostenible. La Paz, Bolivia.
- Ministerio de Desarrollo Sostenible y Planificación. (2000). *Plan de Uso del Suelo para el departamento de Potosí (PLUS-2000)*. La Paz, Bolivia.
- Ministerio de Desarrollo Sostenible y Planificación. (2001). *Plan Municipal de Ordenamiento Territorial – PMOT, municipio de Puna*. (municipio piloto). ZONISIG/APDS. Puna, Bolivia.
- Ministerio de Medio Ambiente y Agua, Proyecto Ecosistemas Verticales Andinos. (2014). *Plan de Ordenamiento Territorial Municipal (PMOT), municipio de Chayanta*. Gobierno Municipal de Chayanta.
- Ministerio de Medio Ambiente y Agua, Proyecto Ecosistemas Verticales Andinos. (2014). *Plan de Ordenamiento Territorial Municipal (PMOT), municipio de Llallagua*. Gobierno Municipal de Llallagua.
- Ministerio de Planificación del Desarrollo. (2016). *Plan de Desarrollo Económico y Social en el marco del Desarrollo Integral para Vivir Bien de Bolivia (2016-2020)*. Ed. Ministerio de Planificación del desarrollo. La Paz, Bolivia.
- Observatorio de la Sostenibilidad en España. (2006). *Cambios de ocupación del suelo en España, Implicaciones para la sostenibilidad*. Madrid, España.
- Reig, E., Goerlich F.J. & Cantarino, I. (2016). *Delimitación de áreas rurales y urbanas a nivel local: Demografía, coberturas del suelo y accesibilidad*. Bilbao: Fundación BBVA, 133 pp. Bilbao, España.
- PLOT Municipios Danida/ZONISIG. (2003). *Plan Municipal de Ordenamiento Territorial – PMOT, municipio Chaquí*. Gobierno Municipal de Chaquí, Bolivia.
- PLOT Municipios Danida/ZONISIG. (2003). *Plan Municipal de Ordenamiento Territorial – PMOT, municipio Tomave*. Gobierno Municipal de Tomave, Bolivia.
- PLOT Municipios Danida/ZONISIG. (2003). *Plan Municipal de Ordenamiento Territorial –*

PMOT, municipio Betanzos. Gobierno Municipal de Betanzos, Bolivia.

Wilson, G.A., Müller, H. (2001) “*The use of socio-economic and environmental indicators in assessing the effectiveness of EU agri-environmental policy*”, European Environment, 11:297-313. Leeds, United Kingdom.

ZONISIG. (2000). *Zonificación agroecológica y socioeconómica del departamento de Potosí*. Ministerio de desarrollo sostenible y planificación. Potosí, Bolivia.

Contribución de los Autores

Nombres y Apellidos del autor	Colaboración Académica													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Sandra Marlene Subieta Aracena	x	x		x	x		x	x	x	x	x		x	
Mauricio Antonio Romero Subieta		x	x		x	x	x				x	x	x	x

1-Administración del proyecto, 2-Adquisición de fondos, 3-Análisis formal, 4-Conceptualización, 5-Curaduría de datos, 6-Escritura - revisión y edición, 7-Investigación, 8-Metodología, 9-Recursos, 10-Redacción - borrador original, 11-Software, 12-Supervisión, 13-Validación, 14-Visualización.