

Monitoreo a procesos de restauración ecológica aplicado a ecosistemas terrestres

Mauricio Aguilar-Garavito
Wilson Ramírez
Editores



The background of the page is a vibrant, stylized illustration of a natural landscape. It features a variety of green plants, including tall grasses and several trees with dense foliage. The colors range from bright lime green to deep forest greens, creating a sense of a healthy, thriving ecosystem. The illustration is positioned on the left side of the page, with the text overlaid on the right.

////////////////////

CAPÍTULO 2

PLATAFORMAS DE

MONITOREO:

PAISAJE, GRUPOS SOCIALES,

SUELO, VEGETACIÓN Y FAUNA

////////////////////



MONITOREO A LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA DESDE LA ESCALA DEL PAISAJE

Paola Isaacs-Cubides y Alexander Ariza

La heterogeneidad del paisaje y la escala

Los paisajes son zonas heterogéneas compuestas por diferentes elementos que están en constante transformación y presentan patrones específicos dependiendo de cada región. Este mosaico de paisaje se presenta como una mezcla de coberturas naturales y antrópicas, con sistemas de producción agrícola, ganadero, forestal, con presencia de especies invasoras, asentamiento humanos y quemas, extracción de materiales, entre otras actividades (Forman 1995, GREUNAL 2010). Dicha heterogeneidad no es estática y la ecología del paisaje busca evaluar por qué se presentan de esta forma a través de una mirada espacial amplia y con más elementos para determinar su configuración (Gustafson 1998, Tongway y Ludwig 2012).

Cuando se evalúan las condiciones de un paisaje es importante determinar la escala en espacio y tiempo en la que dicha condición se analiza. No es lo mismo lo que muestra y se evalúa en un mapa a escalas amplias (i.e. 1:100.000) donde se quiere conocer la situación en un departamento, que lo que se ve a escala detallada (i.e. 1:10.000) para una zona, por ejemplo, de nacimiento de un acueducto. En estos casos, existen dos tipos de factores que se deben considerar, 1) el grano o resolución del dato, expresado en el área mínima que se puede distinguir en un mapa de acuerdo a dicha escala (denominada mínima unidad de mapeo o tamaño de pixel) y 2) la extensión o el tamaño del área mapeada o de estudio, todo esto considerando el periodo de tiempo sobre las cuales las observaciones son colectadas (Gustafson 1998).

Una vez definida la escala de análisis, se deben analizar los patrones de los elementos en el paisaje, los cuales determinan esas condiciones que se presentan en particular. Esto se ha trabajado ampliamente con el uso de índices estadísticos o también las llamadas “métricas del paisaje”. Las métricas se analizan mediante dos grandes grupos: la estructura y la función. La primera abarca la composición (elementos que hay en el paisaje) y la configuración (cómo están organizados) de los elementos del paisaje. La función, por su parte, se analiza revisando cómo el paisaje es percibido o usado por un organismo o proceso en relación con la estructura (Gustafson 1998, McGarigal *et al.* 2012).

La restauración y la escala del paisaje

Usualmente, cuando se quiere abordar la restauración ecológica a nivel espacial se deben determinar los disturbios que se presentan y que pueden ser observables a partir de insumos cartográficos (e. g. zonas quemadas, especies exóticas, erosión, etc.). En este caso, es importante determinar el tipo de disturbio, si fue natural o antrópico, si abarcó un área extensa o pequeña, si ha sido recurrente y persistente, si ha sido frecuente o impredecible, si su magnitud es amplia y si ha sido planeado intencionalmente (Tongway y Ludwig 2012).

Muchos de los trabajos de restauración a escala paisaje se centran en restablecer ciclaje de nutrientes o de dinámicas hídricas, es decir, han abarcado análisis de procesos del paisaje (Tongway y Ludwig 2012); como se ha venido hablando, otra forma de analizarlo es determinando la estructura y función de los ecosistemas y su restauración a través del tiempo para aquellas zonas degradadas.

En este último caso, cuando un área natural se destruye quedan las zonas externas expuestas a condiciones bióticas y abióticas propias de la intervención, las cuales pueden ingresar hasta diferentes distancias al interior del relicto de bosque que se conservó, generando una franja al límite entre el bosque y el área intervenida, conocida como **borde** (Murcia 1995). El caso más conocido es el de la influencia del efecto de borde por la fragmentación de las coberturas y la consecuente pérdida de hábitat, siendo uno de los limitantes para la recuperación natural de un ecosistema, que a su vez lo va degradando más gradualmente (Lovejoy *et al.* 1986, Vargas 2007). Este indicador es importante para evaluar ya que dentro de las consecuencias de la fragmentación se afectan muchas de las dinámicas de los ecosistemas dentro de las que se destacan las siguientes (Kattan 2001, Ries *et al.* 2004):

- Desaparecen o disminuyen de especies por eliminación directa o por estar asociada a hábitats perdidos.
- Se ven afectadas las especies sensibles al aislamiento al no poder mantener el flujo entre individuos de la misma especie entre fragmentos, impidiendo su dispersión a través de las zonas disturbadas (caso de anfibios, reptiles y algunas plantas dispersadas por animales de corta movilidad).
- Se ven afectadas las especies que requieren áreas naturales extensas para sobrevivir, entre ellas los grandes mamíferos o aquellas que se ven afectadas por las características microclimáticas asociadas con el borde.
- Se benefician las especies invasoras, que compiten y desplazan a las nativas.
- Se ven afectadas las especies claves (polinizadores, dispersores, depredadores, etc.) que generan reacciones en la cadena trófica.

El hecho de que las características del paisaje puedan afectar procesos ecológicos y la distribución de las especies, especialmente en paisajes fragmentados, es relevante para acciones de restauración centradas en la conservación de la biodiversidad y la prestación de bienes y servicios ambientales (Metzger *et al.* 2009). En particular esto es importante cuando se consideran atributos espaciales que regulan la conexión del paisaje o su conectividad (la cual se define como la capacidad del paisaje de facilitar flujos biológicos, como el movimiento de los animales, la dispersión de polen y semillas; Bennet 2006, Crooks y Sanjayan 2006).

La conectividad está relacionada con la resiliencia del paisaje (capacidad del paisaje de recuperarse de pérdida de especies a través de la migración) por lo que se ha sugerido que la mayor efectividad para las acciones de restauración se encuentran en paisajes con niveles intermedios de resiliencia, ya que aún albergan altos niveles de biodiversidad y conectividad, y por tanto aún tienen el potencial para recolonizar las áreas en proceso de revegetación. Sin embargo, están en mayor riesgo de extinción de especies y de la pérdida y fragmentación del hábitat por el nivel de degradación que puede seguir avanzando (Rodrigues *et al.* 2009, Pardini *et al.* 2010, Martensen *et al.* 2012). Cuando la capacidad de resiliencia es baja, con poca cobertura y baja conectividad, el costo de la restauración es más alto y la probabilidad de obtener cualquier beneficio de conservación sería muy baja debido a la pérdida de especies y la baja probabilidad de recolonización (Hobbs 2007).

Monitoreo de la restauración ecológica desde el paisaje

El monitoreo debe llevarse a cabo a través de diferentes espacios de tiempo, (a corto, mediano y largo plazo) con el fin de evaluar si las técnicas o estrategias de restauración planteadas se realizaron como fueron diseñados, si alcanzaron las metas o si deben ser modificados (Vargas 2007, MADS 2014). En términos espaciales es más complicado visualizar los cambios a corto plazo, salvo que se estén trabajando escalas detalladas y que se registren desde el campo puntualmente las actividades de restauración que se implantan. Sin embargo, con base en criterios e indicadores se puede ir registrando la evolución del proceso de restauración mediante el análisis de las condiciones de partida con base en los patrones de las coberturas, lo cual va a ser más visible a largo plazo (Vargas 2007).

Dada la relativa respuesta del paisaje a las actividades de restauración, muchas veces es difícil definir un indicador o parámetro del paisaje apropiado para responder el objetivo de restauración específico y guiar sus acciones. Muchos de estos dependen en su mayoría de aspectos sociales y económicos, considerando que aún no se tiene un entendimiento óptimo de los diferentes procesos ecológicos asociados con la restauración, lo que hace aún más difícil encaminar estas acciones (Leite *et al.* 2013). En paisajes modificados, los atributos espaciales como el tamaño de un fragmento, la conectividad, el efecto de borde y su relativa ubicación son elementos que condicionan la riqueza de especies, abundancia y composición (Saunders *et al.* 1991, Gama *et al.* 2013).

De acuerdo a la literatura disponible, el arreglo espacial se ha venido incluyendo en el diseño y ubicación de lugares para la restauración (Tambosi y Metzger 2013, Echeverría *et al.* 2013, Tambosi *et al.* 2014), usualmente buscando incrementar el tamaño de los parches, buscando conectarlos entre ellos (Metzger *et al.* 2008, Tambosi *et al.* 2014) o realizando priorización de áreas para la toma de decisiones (Metzger 2003, 2010, Rodrigues *et al.* 2009, 2011, Isaacs 2013, 2014). La efectividad de las medidas de restauración tomadas en el paisaje y su evolución a través de tiempo, puede ser monitoreada usando estos indicadores a través de la definición de ciertos criterios explicados mas adelante. Cada indicador cuenta con su cuantificador, mediante el cual se evalúa la efectividad de la estrategia de restauración y su cuantificador para el monitoreo.

Métodos para el monitoreo de la restauración ecológica desde el paisaje

El primer paso para trabajar la restauración desde lo espacial, es evaluar e interpretar los patrones y las condiciones del paisaje existente y cómo será abordado para la restauración de acuerdo a su situación y el objetivo planteado. Para esto, actualmente se cuenta con una amplia gama de herramientas que permiten la estimación del estado del paisaje y su interpretación, facilitado por la disponibilidad de programas capaces de calcular una gran cantidad de índices que evalúan estos patrones del paisaje. Se cuenta con insumos disponibles desde la cartografía digital para ubicar los diferentes elementos del paisaje y su análisis a través de los programas de cómputo espacial o los Sistemas de Información Geográfica (SIG), sobre los cuales se obtiene información, se procesa y alcanza un resultado para el análisis espacial (Ivits et al. 2002, Ravan et al. 2005).

La cartografía puede ser levantada a través de imágenes satelitales o fotografías aéreas, bajo la interpretación de los componentes de dicha imagen con base en las texturas, formas y colores de las coberturas (fotointerpretación) o por medio de algoritmos automatizados (clasificación supervisada o no supervisada. Para mayor detalle consultar IGAC 2005). La técnica a usar dependerá del presupuesto disponible, el tiempo, la precisión y el detalle que se requiera del estudio. Por ejemplo, las imágenes se escogen de acuerdo a la escala de trabajo implementada, y del objetivo de restauración, si se necesitan imágenes con mucho detalle a una escala local o si se necesitan imágenes de un área general y que no requieren mucho detalle. De acuerdo al tipo de imagen, existen diferentes precios en el mercado, existen algunas imágenes para descarga gratuita como las Landsat para análisis a escala general 1:100.000 (<http://glovis.usgs.gov/>) y MODIS para escalas 1:1.000.000 (<http://earthdata.nasa.gov>) o imágenes disponibles en el Banco Nacional de Imágenes del IGAC (<http://bni.igac.gov.co:81/home/>), adquiridas por medio de convenios interinstitucionales, y que ofrecen imágenes a escalas más detalladas (Anexo 3). Así mismo, si buscamos analizar la presencia de incendios en una zona será posible usar algoritmos automatizados, pero si queremos tener definidas categorías de vegetación natural, y otras coberturas más específicas, será recomendable elaborar el mapa por fotointerpretación y su dibujo por computador en el SIG.

Para el cálculo de las métricas se debe contar con cartografía digital de las coberturas en la zona de interés, la cual está organizada por categorías o clases de cobertura (por ejemplo bosques, herbazales, arbustales, bosques riparios, plantaciones forestales, áreas de quemas, suelos desnudos, ríos, etc.) Con dichos mapas se evalúan dichas métricas a nivel del paisaje y para cada una de las coberturas presentes a través de programas como el *Fragstats*, empleado ampliamente pues su uso es gratuito (Mcgarigal et al. 2012) o la extensión *Patch analyst* para ArcGIS (Rempel et al. 2012), que facilita la integración con el SIG pero tiene el costo del programa asociado.

Para realizar las posteriores comparaciones para monitorear la evolución de la estrategia de restauración, es necesario que la unidad de análisis sea la misma o esté estandarizada, correspondiendo al mismo tipo de cobertura, a la misma escala y levantada con la misma metodología, de lo contrario tendremos insumos que estarían desproporcionados, lo que dificultaría visualizar cambios en el tiempo (Gibbs et al. 2007).

Es importante evaluar aquello relacionado con el disturbio, registrar su frecuencia ya sea raro, recurrente o continuo, cómo se da el avance de las coberturas o si por el contrario ocurre es su destrucción.

Métricas como indicadores para el monitoreo de la restauración ecológica desde el paisaje

Con miras a otorgar una visión de cómo la ecología del paisaje se ha incorporado en los procesos de restauración, a continuación se presenta una recopilación de indicadores centrados en métricas del paisaje para evaluar los patrones espaciales y como estos se enfocan a abordar el monitoreo de la restauración a lo largo del tiempo.

De las métricas que presentan los diferentes programas, existe un grupo que es empleado como indicador de éxito en la restauración, con el fin de evaluar los patrones de las coberturas en el espacio y a través del tiempo (Vargas 2011).

Métricas de estructura

Composición

Se inicia la evaluación a través de un criterio definido como **composición**, que se refiere al número de categorías o clases en el mapa, su relación con toda el área de estudio y su variedad, que se comporta más como una actividad descriptiva de las coberturas presentes en el área de interés (Figura 7). El primer insumo para determinar acciones de restauración será determinar si hay presencia de coberturas intervenidas y de disturbios en la zona de trabajo. En el ejemplo vemos que en dicho paisaje su composición está dada por la presencia de coberturas de bosques, arbustos, matorrales, pastos,



Figura 7. Ejemplo de la composición de un paisaje, de acuerdo a esto, el área está compuesta por coberturas de bosques, arbustos, matorrales, pastos, cultivos y cuerpos de agua.

pastos, cultivos y cuerpos de agua, también se pueden presentar áreas de incendios, erosión, invasión de especies exóticas o cualquier área que se quiera restaurar.

Para evaluar este indicador se buscan aquellos elementos que queremos evitar o cambiar mediante el proceso de restauración, en este caso puede ser la presencia de pastos con ganadería que está afectando la zona de un drenaje, y su monitoreo se realizará verificando que la cobertura cambió a un sistema silvopastoril para mejorar sus condiciones o que cambió de acuerdo a lo planteado en los objetivos y los demás indicadores que siguen.

Configuración

Por sí sola la composición no explica mucho la situación de una zona en particular, para ello se debe complementar su análisis con la evaluación de la **configuración espacial**, la cual busca describir características de los parches y la relación entre estos mediante la evaluación del arreglo, posición y carácter espacial de las coberturas en cuanto a sus tamaños, número de coberturas o parches, forma, área núcleo y borde.

Los tamaños de las diferentes coberturas son el segundo elemento a evaluar. Si contamos con vegetación natural extensa y muy pocas áreas intervenidas, las actividades de restauración van a ser menores o diferentes. Si, por el contrario, tenemos áreas naturales pequeñas y en su mayoría áreas disturbadas, los esfuerzos de restauración van a ser mayores y requerirán acciones diferentes a las de un área mayormente conservada. Así mismo, un paisaje con muchas coberturas o parches de vegetación original separadas entre sí por zonas intervenidas serán más prioritarias para restaurar que una zona con dos coberturas naturales y pocas intervenidas. La extensión y el número de parches van de la mano en los análisis y el estado de un área, y las acciones de restauración a implementar dependerán tanto del número de coberturas naturales.

Número de parches por coberturas

Este indicador corresponde al número de unidades de cada tipo que conforman la zona de interés, ya sea cobertura, ecosistema u otro tipo de atributo. Busca analizar los arreglos del paisaje en riqueza y dominancia (Zambrano *et al.* 2003). Este dato indica la cantidad de fragmentos que ocupan un área y puede tratarse como un indicador de fragmentación del paisaje.

El cuantificador, en este caso es el número de polígonos por tipo de cobertura. De acuerdo a la Figura 8, tenemos en un caso un área de pastos con dos parches de bosque y dos zonas de matorrales. En el otro caso tenemos una zona con cinco parches de bosque, uno de matorrales y una zona de pastos y por último una zona de pastos, dos parches de bosque y uno de matorrales.

De acuerdo a las figuras, sin tener una relación de los tamaños de cada cobertura es difícil evaluar cuáles son sus prioridades de restauración y proporción en el área de estudio. El primer escenario presenta mayor cantidad de área natural a pesar de presentar solo dos parches de bosque; en el segundo caso, a pesar de existir cinco parches de bosque, todos son de tamaño pequeño y están rodeados de pastos; en el tercer caso se tienen dos parches de bosque pero aquí, a diferencia del primero, con un tamaño pequeño y donde las zonas de pastos dominan la zona. En este caso el ejemplo va de menor a mayor fragmentación del paisaje.

Si la restauración está enfocada en recuperar bosques, para los tres casos tenemos la misma composición de tres coberturas; sin embargo, el escenario b) es el más fragmentado porque presenta mayor cantidad de parches de bosque, pero el c)

es el más degradado porque dominan las áreas de pastos, además que hay mucha fragmentación de los bosques. A futuro, el monitoreo debe cuantificar si el número de parches de bosque disminuye y si su área aumenta a través del siguiente indicador.

Tamaño de los parches

Este indicador calcula el área de cada unidad dentro de su zona de análisis, igualmente relacionado con la riqueza y la dominancia. Es una medida asociada a indicadores como extensión y proporción de las coberturas naturales y es esencial para conocer el tipo de intervención que se ha dado en un área y su magnitud. Este indicador se puede emplear, por ejemplo, cuantificando el área quemada en un bosque y su posterior regeneración a lo largo del tiempo, también si desaparece o se dá de forma recurrente. Con fines de monitoreo de restauración se busca evidenciar la evolución de las zonas que se han restaurado, por ejemplo, en el caso de un bosque, se busca que el tamaño de este aumente a través de la regeneración y la inclusión de áreas en donde se ha realizado plantación de árboles. Por otro lado, si se quiere evidenciar la desaparición de áreas afectadas por la invasión de especies exóticas, el indicador busca que el área invadida disminuya o en el caso de un incendio se busca que haya crecimiento de vegetación o que se dé el avance objetivo de restauración en esa zona (Isaacs y Jaimes 2014).

En la Figura 8, se tienen las mismas coberturas y casi en el mismo número de parches que en la figura anterior. Sin embargo, en cuanto a los tamaños las diferencias son significativas. En el primer caso (a) tenemos dos parches de bosque uno de gran tamaño y otro más pequeño y dos parches de matorrales grandes rodeados de una zona de pastos que corresponden más o menos a un 40 % del área. En el segundo caso (b) la pérdida de cobertura natural es mucho mayor ya que se presentan cinco parches de tamaño pequeño, un parche de matorrales y pastos que abarcan un 50 % del área. Por último, el tercer caso presentan solo dos parches de bosque, uno de matorrales y pastos, siendo estos últimos los que dominan la zona.

Este indicador se cuantifica en área en metros cuadrados o hectáreas por cada unidad de cobertura. De acuerdo a la Figura 9, tenemos dos parches de bosque, dos de matorrales, una zona de cultivos y una matriz dominada por pastos. A futuro, el monitoreo busca que, por ejemplo, el área de bosque aumente gracias al crecimiento de los matorrales y de las actividades de restauración que se establezcan en esas zonas, que rodean al parche de 80 ha y que se de regeneración en el parche de 15 ha ya sea por trabajos de enriquecimiento y aumento de la conectividad con plantaciones que busquen unir los dos parches de bosque. Adicionalmente, es deseable que el parche de matorrales de 10 ha vaya pasando a una estructura más boscosa y que igualmente los matorrales incrementen el tamaño de ese parche.

Es importante considerar tamaños máximos y mínimos de las coberturas (McGarigal *et al.* 2012). De acuerdo al objetivo, si se quiere realizar actividades de restauración propiamente dicha, sería bueno contar con paisajes como los de la Figura 8a, en donde se mantiene una gran zona de conservación y coberturas naturales cercanas que permitirían incrementar el área a futuro; el parche grande funcionaría como fuente de germoplasma para restaurar el parche pequeño y permitir el avance sucesional de las zonas de matorrales. En la Figura 8b y c, el escenario sería más de rehabilitación, en donde hay todavía elementos del paisaje naturales y que permitirían restaurar bajo escenarios como corredores, sistemas silvopastoriles o agroforestales que fueran incrementando la extensión y la función de las coberturas naturales.



Figura 8. Ejemplo del número de coberturas presentes en dos zonas, en primer caso (a) dos parches de bosque en verde oscuro, dos zonas de matorrales en verde oliva y una zona de pastos en verde claro. En el segundo caso (b) se presentan 5 parches de bosque, uno de matorrales y una zona de pastos. En el tercer caso (c) se tienen dos parches de bosque, uno de matorrales y una zona de pastos. De acuerdo a esto, se puede determinar que el paisaje (c) está más intervenido y degradado.

Por otro lado, este mismo ejercicio de número de parches y tamaños se debe realizar con las áreas intervenidas y su proporción en el paisaje de acuerdo a su dominancia (Zambrano *et al.* 2003). Si dominan las áreas transformadas, en términos de número de parches, tamaño y parches de tamaño grande, tendremos una **matriz de tipo antrópico** donde se deben incrementar los esfuerzos de restauración encaminados a la rehabilitación o en caso de ser extensivo, a recuperación (UICN 2011).

En la Figura 10 se observa una dominancia en áreas intervenidas diferentes y la presencia de cuatro zonas de vegetación original pero en diferente estado de conservación y de tamaño pequeño. Dependiendo del tipo de vegetación nativa remanente y del tipo de intervención presente, se deben realizar determinadas actividades de restauración, algunas pueden estar encaminadas a disminuir la intervención dentro de cada parche, aumentar su tamaño y la conectividad entre estos y cambiar aquellas actividades productivas intensivas y que representen mayor deterioro para la zona (Isaacs 2013). Para el monitoreo de las áreas transformadas se verifica al igual que para las coberturas nativas, que cambie su composición, tamaño, número de polígonos. Si el objetivo de restauración buscaba eliminar ganadería de las áreas

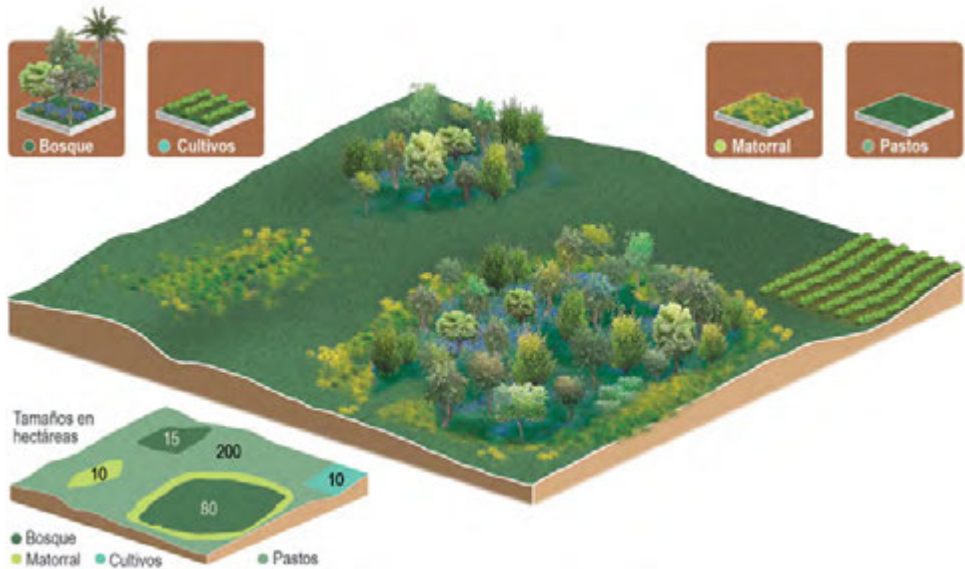


Figura 9. Tamaños de cada cobertura presente; en un paisaje hipotético con 95 ha de bosque, 30 ha de matorrales, 10 ha de cultivos y 200 ha de pastos.

adyacentes a los bosques, el indicador muestra que hubo un cambio de cobertura en esas áreas y por lo tanto un menor tamaño de pastos con ganado.

Por último podemos analizar el tamaño del fragmento o cobertura más grande de la unidad espacial de estudio, relacionado con las unidades más dominantes en el área de análisis y se calcula a partir del número de fragmentos de una unidad y del tamaño de cada uno de estos para cada cobertura. Los parches naturales de tamaños grandes pueden ser deseables para la conservación por mantener la integridad y servicios ecosistémicos y para la restauración, como fuente de germoplasma. Aquellos parches pequeños serían prioritarios para la rehabilitación, si sus condiciones lo ameritan según el objetivo del estudio (Lang *et al.* 2009).

De acuerdo con la Figura 11 se tiene el parche de bosque más grande de 80 ha y 200 ha de pastos. En este caso el área la dominan las áreas intervenidas y lo que se busca por ejemplo es que a través del tiempo el parche de 80 ha aumente su tamaño y disminuyan los pastos de 200 ha, esto con el fin de disminuir la dominancia de los sistemas productivos y aumento de las áreas naturales.

Forma

Las métricas de forma son índices que se relacionan bajo el supuesto de que las coberturas antrópicas, como las parcelas de cultivos, suelen tener formas homogéneas y geométricas (por lo general de tipo cuadrado o circular), mientras que las coberturas naturales tienen formas heterogéneas. La medición más común se fundamenta en la relación existente entre el perímetro multiplicado por la unidad de área, asemejándola a un círculo o cuadrado (Mcgarigal *et al.* 2012). Esta relación es la manera más fácil para calcular el valor del Índice de Forma. Dependiendo de la forma se priorizan acciones de restauración en aquellos lugares que presenten mayor intervención es decir las formas más regulares (por lo general valores de Índice de Forma cercanos a 1).

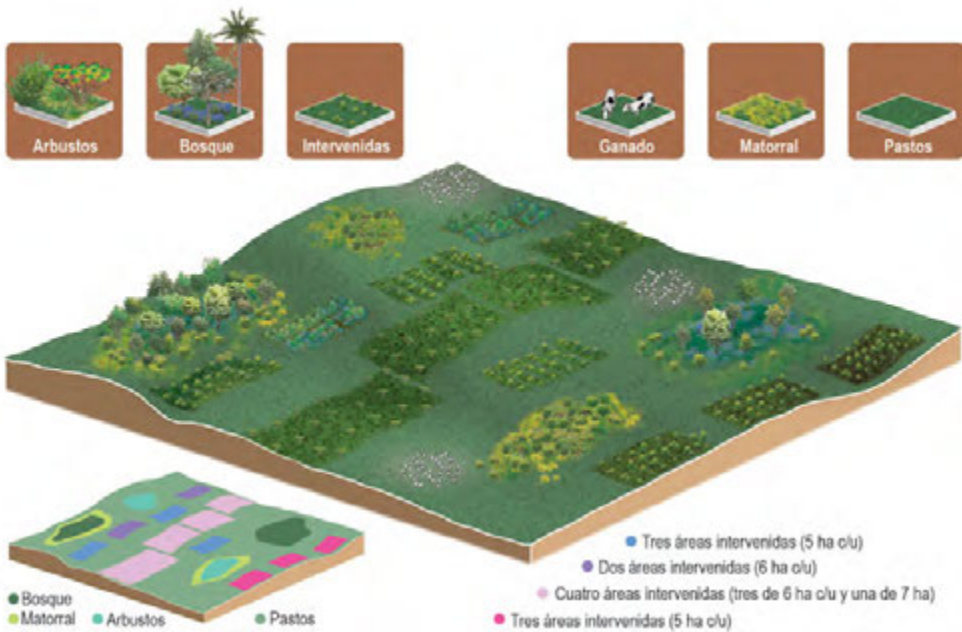


Figura 10. Número de áreas y tamaño de las áreas intervenidas presentes. En el paisaje tenemos una matriz intervenida con diferentes tipos de cultivos y pastos que dominan la zona, nueve coberturas intervenidas, dos parches de bosque y una de matorrales.



Figura 11. Representación de la presencia del fragmento de bosque con 80 ha y la zona de pastos con 200 ha, en una matriz antrópica.