

Manual paso a paso para el uso de FRAGSTATS

Un programa de análisis de patrones espaciales



INSTITUTO
DE ECOLOGIA
UNAM



LANCIS

Laboratorio
Nacional
de Ciencias
de la Sostenibilidad

Manual paso a paso para el uso de FRAGSTATS

Un programa de análisis de patrones espaciales

Autores:

Luis Diego Martínez Jiménez¹

Mtra. Isabel Herrera-Juárez²

Coautora y coordinadora:

Dra. Yosune Miquelajauregui Graf³

¹ Escuela Nacional de Estudios Superiores, Unidad Morelia. Universidad Nacional Autónoma de México. Correo electrónico: luisdie.197@gmail.com

² Coordinación de Estrategias para la Biodiversidad. Dirección General de Coordinación de Políticas y Cultura Ambiental. Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno de la Ciudad de México. Correo electrónico: iherrera.sedema@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2600-2616>.

³ Laboratorio de modelación de sistemas socioecológicos. Laboratorio Nacional de Ciencias de la Sostenibilidad (LANCIS). Instituto de Ecología. Universidad Nacional Autónoma de México. Correo electrónico: yosune@ieciologia.unam.mx

Citar el documento:

Martínez, L. y Herrera, I. (2023). *Manual paso a paso para el uso de FRAGSTATS. Un programa de análisis de patrones espaciales*. UNAM.

Este proyecto se realizó con el apoyo del Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) IN22332.

D.R., ©, 2023, Universidad Nacional Autónoma de México, Av. Universidad 3000, Universidad Nacional Autónoma de México, C.U., Delegación Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México.

Esta obra está bajo una licencia Creative Commons Atribución, No comercial Código Legal: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.es>, (CCBY-NC).

Índice

Presentación	1
Introducción	2
Pasos preliminares	3
Definiendo el paisaje de estudio	3
Obteniendo los archivos de información geográfica	4
Definiendo el modelo de análisis de datos	6
Definiendo el tipo de análisis	6
Procesando la información geográfica	6
Revisión de los shapefiles	7
Procesamiento	9
Exportación y reclasificación de datos	10
Rasterización	14
Guía para usar Fragstats	16
Requerimientos	16
Estableciendo los descriptores de clase	17
Estableciendo el contraste de borde	18
Estableciendo celdas sin datos, borde y fondo	22
Ejecución del programa	22
Elección de las métricas	26
Archivos de salida de <i>Fragstats</i>	29
Referencias	33
Anexo, diseño del modelo FRAGSTATS	34

Presentación

Este manual está dirigido a la comunidad estudiantil y académica, así como a servidores públicos que se interesen en el conocimiento y análisis de la fragmentación del paisaje mediante el uso de *FRAGSTATS*. En este manual se emplea un caso de estudio para ilustrar los pasos generales de cómo operar un Sistema de Información Geográfica (SIG) como herramienta de apoyo en el uso de *FRAGSTATS*, así como las posibles dificultades que pueden surgir durante este proceso.

En este manual aprenderás a:

1. Obtener los insumos geoespaciales (shapefiles, rasters) y procesarlos mediante el uso de funciones básicas de Sistemas de Información Geográfica.
2. Configurar *FRAGSTATS* mediante la preparación de archivos y tablas.
3. Determinar y tener una breve descripción de métricas de fragmentación y escala.
4. Determinar los métodos de muestreo y parámetros de un modelo en *FRAGSTATS*.
5. Ejecutar *FRAGSTATS*.

Por el contrario, si requieres profundizar en el análisis bioestadístico te recomendamos consultar otro tipo de literatura ya que este manual no te será de ayuda.

Introducción

La ecología del paisaje es el estudio de los patrones e interacción entre los ecosistemas de una región de interés y de cómo la heterogeneidad espacial afecta los procesos ecológicos, como la distribución de los elementos bióticos y abióticos del ecosistema, la dispersión, la competencia, los flujos de energía y de materia (Clark, 2010; Kupfer, 2012).

El estudio de los fenómenos ecológicos a nivel de paisaje resulta complejo debido a que requiere de analizar, integrar y relacionar la heterogeneidad del sitio, los procesos, el disturbio y dinámicas ecológicas y sociales dentro de los sistemas ecológicos en diversas escalas temporales y espaciales (McGarigal, 1995; Wu, 2018).

Debido a la complejidad de valores que evalúa la ecología de paisaje es necesario definir el paisaje de estudio. Una forma de definir paisaje es como un tipo de ecosistemas concentrados en una zona geográficamente determinada, el flujo o interacciones entre estos ecosistemas, una geomorfología y clima en común, así como también una abundancia relativa dentro de esta concentración de ecosistemas (Risser, 1987). Además, un paisaje puede ser definido desde la perspectiva de la especie o taxa de estudio como un área de terreno que contiene parches de hábitat entre los que se encuentran parches de un hábitat focal que estaría definido con base en la percepción y la escala medioambiental de la especie o taxa (Dunning et al., 1992; Wiens, 1976; McGarigal, 2015)

Uno de los aspectos más importantes para un análisis a partir de este enfoque es la escala espacial, está se conforma por la superficie de terreno de interés y el tamaño mínimo de los elementos del paisaje o parches (Gurrutxaga, 2008); estos deberán presentar un tamaño adecuado para el estudio del fenómeno o especie de interés. Cuando el análisis parte del estudio de una especie o grupo biológico de interés, es importante considerar una escala espacial intermedia entre el ámbito hogareño de la especie y la distribución a nivel regional de la especie (McGarigal, 2015). Para abordar la complejidad de la información y los datos espaciales se utilizan representaciones o modelos que analizan el paisaje a partir de diferentes enfoques, y uno de los más utilizados es el mosaico de parches (Castilla, 2009).

Los constantes avances en las herramientas de computación y tecnología satelital, así como los SIG, se han establecido dentro de la ecología como una herramienta para el análisis de la heterogeneidad espacial a diferentes escalas espaciales, que van desde localidades hasta continentes, para el estudio de diferentes especies, así como de fenómenos o disturbios, naturales o antropogénicos.

El objetivo de este manual es describir a detalle los pasos para analizar información geográfica desde una perspectiva de ecología del paisaje a partir del programa

FRAGSTATS, abordando desde la obtención de los archivos en reservorios o repositorios en internet, el procesamiento para su análisis y el diseño de un modelo hasta la obtención de resultados. En este manual los usuarios podrán:

- ❖ Identificar algunos de los sitios disponibles en donde se puede obtener información geográfica de diferentes variables o capas de información en formato vectorial, rasters y tablas.
- ❖ Conocer la preparación de los insumos necesarios para su análisis en *FRAGSTATS* a partir del uso de SIG de manejo y edición de datos geográficos.
- ❖ Aprender las funciones básicas de programas de SIG y *FRAGSTATS*, como abrir las capas, cambiar la proyección, así como recortar, transformar y editar la información geográfica.
- ❖ Aprender a preparar y modificar los archivos y tablas complementarias para emplear *FRAGSTATS*.
- ❖ Entender el diseño de un modelo para ejecutar en *FRAGSTATS* y cómo determinar las métricas para utilizar y calcular en diferentes escalas espaciales.

Pasos preliminares

- ***Definiendo el paisaje de estudio***

Para definir un paisaje de estudio se debe considerar que el tamaño o la escala deberá contener un mosaico de parches, que incluya la clase o el tipo de parches de interés, cuya interacción es relevante para el fenómeno o especie de estudio (McGarigal, 2015). La escala estará dada por la extensión del paisaje y por el área o superficie de terreno que se desea estudiar, así como por el tamaño del grano o de las unidades individuales que integran la capa de información geográfica (McGarigal, 2015). Cuando el objetivo de estudio es la interacción de una especie con el paisaje, se debe considerar que el tamaño del paisaje deberá tener una escala intermedia entre el ámbito hogareño y la distribución regional de la especie (McGarigal, 2015).

En este caso de estudio, el paisaje comprende el territorio de la Cuenca de México puesto que el propósito de este trabajo es explorar y caracterizar la distribución de las clases de parches o tipos de coberturas y los elementos del paisaje. Para comprender el paisaje de estudio es importante considerar que una cuenca hidrográfica se define como una unidad de territorio de captación de agua que contribuye al flujo de agua de una región y que se delimita por un parteaguas donde desembocan (Galvez, 2012). Estudiar una cuenca a partir de este enfoque resulta importante debido a que permite evaluar y explicar las interrelaciones de todos los procesos, como: el ciclo hidrológico, la interacción de elementos bióticos y abióticos como el clima, relieve, el suelo y la vegetación, y el cómo las poblaciones del área impactan en el ecosistema y aprovechan los recursos naturales (Cotler, 2004).

El análisis de los patrones espaciales está determinado por el tipo de datos espaciales. En *FRAGSTATS* es posible analizar diferentes tipos de patrones espaciales como: puntos espaciales, redes lineales, superficies y mapas categóricos. En este caso, se analizarán los patrones de mapas categóricos puesto que las propiedades del sistema de interés estarán representadas por un mosaico de parches discretos o mosaico de parches, es decir, tipos de coberturas. Desde un punto de vista ecológico, los parches representan áreas con condiciones ambientales heterogéneas a una escala determinada. Los límites entre parches estarán establecidos por discontinuidades abruptas de carácter ambiental (McGarigal, 2015). Los datos consistirán en polígonos (mapas en formato vector) o en una cuadrícula de celdas (mapas de tipo raster) que clasifican el terreno en clases discretas o tipos de coberturas (McGarigal, 2015).

- ***Obteniendo los archivos de información geográfica***

Una vez definida el área que compondrá el paisaje, en este caso la Cuenca de México, necesitaremos identificar la información geográfica que es necesaria para realizar el análisis. En este caso, se trata de capas de uso de suelo y vegetación de México y las cuencas que hay en México. La capa de las cuencas nos servirá para determinar el área y escala apropiada de acuerdo con el objetivo del análisis, esto debido a que una cuenca constituye una zona natural en donde se puede coleccionar y aprovechar el agua, por lo que han sido reconocidas y usadas como unidades de paisaje para el manejo de servicios ecosistémicos. Y, por otro lado, la capa de uso de suelo y vegetación será la capa base para caracterizar la composición y disposición espacial de los elementos del paisaje.

Para conseguir dichos archivos, en el caso de México, los sitios más conocidos son:

- Geoportal de la Conabio: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- Portal del INEGI: <https://www.inegi.org.mx/temas/> .

Estos sitios cuentan con un gran acervo de imágenes, datos y archivos en formato vectorial y raster de diversos temas, abarcando desde lo político, económico y el ambiente del país. Otros sitios de donde descargar información geográfica son:

- ArcGIS Hub: <https://hub.arcgis.com/search?collection=Dataset>
- Earth Explorer: <https://earthexplorer.usgs.gov>
- DIVA-GIS: <https://www.diva-gis.org/gdata>
- WorldClim: <https://www.worldclim.org>

Cuando se trabaja con grupos biológicos o especies, se recomienda consultar los siguientes bancos de información:

- Global Biodiversity Information Facility: GBIF; <https://www.gbif.org/>

- Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad de México: <https://www.snib.mx/>

Para este ejemplo se ha utilizado el shapefile de uso del “suelo y vegetación, escala 1:250,000, serie VII (continuo nacional)” del Geoportal de Conabio (<http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>) encontrado en la categoría de “Vegetación y uso de suelo” y en la subcategoría “INEGI”. Una vez seleccionado, podrás notar que el mapa se colorea y en la parte derecha de la página podrás observar la simbología. Para su descarga, en la parte superior del mapa notarás varias ventanas y deberás dar clic en la ventana que diga “Metadatos”, donde además podrás consultar el autor, fecha de publicación, las palabras clave, y en la sección de “Descargas” da clic en la opción “Shapefile (Coordenadas Geográficas)” (figura 1).

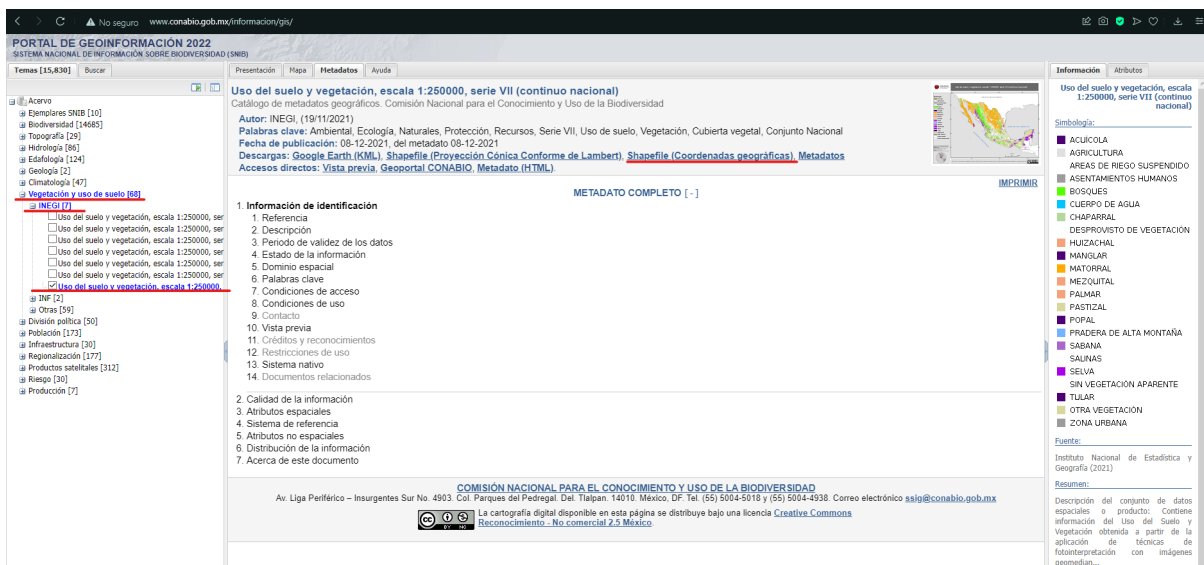


Figura 1. Metadatos de la capa de uso de suelo y vegetación del Geoportal Conabio. En la figura se observan los metadatos del shapefile, que incluye la información del uso del suelo y vegetación que acabas de descargar abarca toda la República Mexicana.

Debido a que el archivo shapefile disponible corresponde al territorio de la República Mexicana, se debe descargar otro shapefile que contenga la zona previamente elegida, en este caso “Cuencas Hidrográficas de México, 2007”, ubicado en la categoría “Hidrología” y en la subsección “Regiones hidrológicas y cuencas”, y descargar el archivo shapefile siguiendo el procedimiento descrito anteriormente.

Los archivos se descargarán en un archivo tipo .rar, por lo que será necesario descomprimir los archivos descargados y guardarlos en una carpeta que sirva como “Catálogo de mapas” en una dirección reconocible y de fácil acceso dentro del ordenador. Es importante considerar que un archivo shape está conformado hasta

por ocho archivos, cada uno independiente y con un tipo de información, por lo que deben estar almacenados todos en una sola carpeta.

- **Definiendo el modelo de análisis de datos**

Para el análisis de mapas categóricos es posible utilizar el Modelo de biogeografía de islas (MacArthur y Wilson, 1967; Saunders et al., 1991), en el que los parches son unidades de paisaje análogos a islas oceánicas que se encuentran en una matriz inhóspita o ecológicamente neutral. Por otro lado, el modelo de mosaico de paisaje (Forman, 1995) considera el paisaje como un ensamble especialmente complejo y heterogéneo de tipos de parches que están delimitados por otros tipos de parches. A través del uso de este modelo, el paisaje puede ser evaluado desde la perspectiva de una especie o de un fenómeno ecológico de interés.

- **Definiendo el tipo de análisis**

El alcance del análisis y los resultados que se obtienen a través de *FRAGSTATS* es diferente de acuerdo con el tipo de análisis que se realiza. El análisis puede estar enfocado en la descripción del carácter espacial y/o el contexto de los parches individuales. También puede estar enfocado en la estructura del vecindario local en el que la estructura del paisaje conforma gradientes de patrones que varían según la percepción y la distancia de influencia del organismo o proceso de estudio. Finalmente, el análisis de la estructura del paisaje global busca caracterizar la estructura de todo el paisaje a través de métricas.

Procesando la información geográfica

Una vez que se ha definido el tipo de análisis y se han obtenido los mapas necesarios para realizar el análisis, se deben crear los insumos necesarios para correr un modelo en *FRAGSTATS*. Para esto, es necesario realizar una serie de procesos en un SIG como ArcMap de ArcGis o QGis de libre uso, para visualizar, explorar, crear y editar datos geográficos. Para este caso utilizaremos ArcMap (ESRI, Redlands, CA), un programa muy amigable y simplificado haciendo provecho que la UNAM cuenta con una licencia para uso académico. Sin embargo, el mismo procedimiento puede ser replicado en QGis tomando como base esté ejemplo.

El primer paso para seguir es abrir e inspeccionar los archivos. En la barra superior encontrarás un ícono representado con un rombo con un símbolo “+” encima, da clic en la flecha y posteriormente selecciona la opción “Add Data...” En este caso se recomienda crear una carpeta en el escritorio llamada “Catalogo Mapas”, la cual se puede encontrar rápidamente en Inicio > Desktop > Catalogo Mapas, y posteriormente busca y haz clic en el archivo con terminación “.shp” (figura 2).

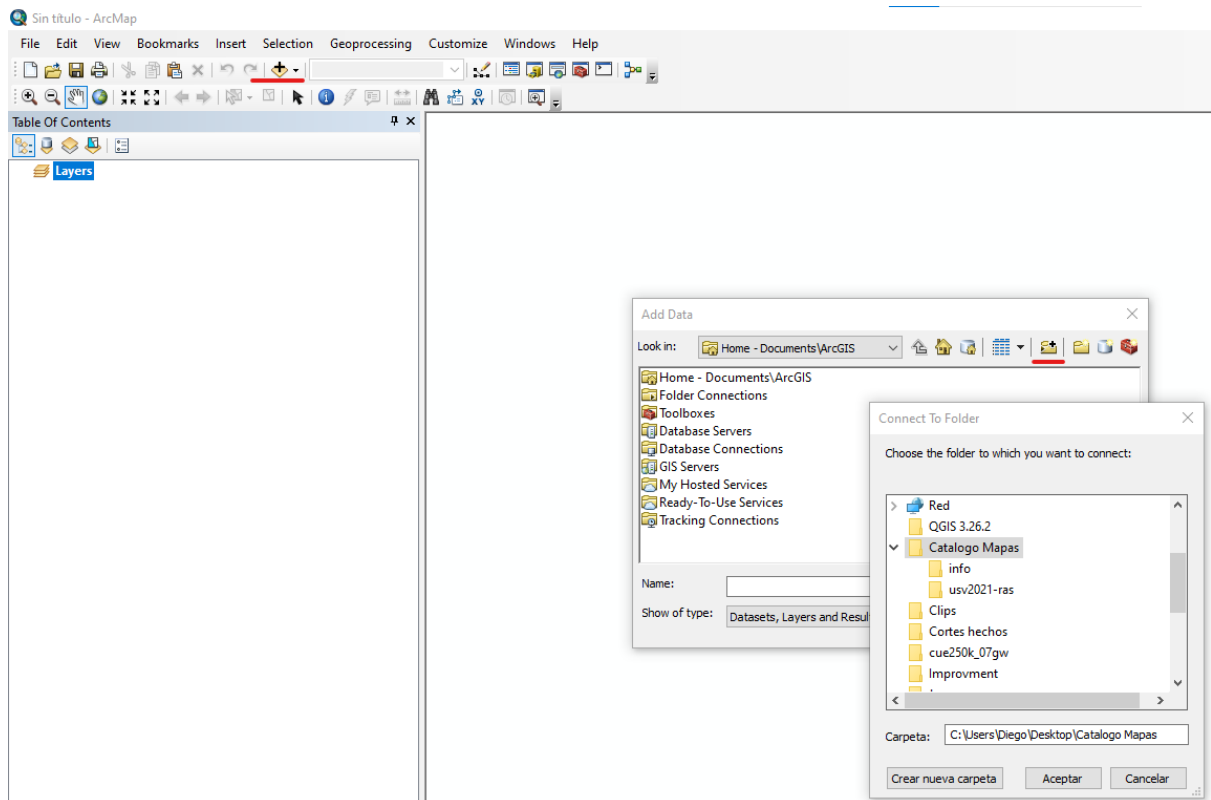


Figura 2. Pantalla y ventanas iniciales de ArcMap (ESRI, Redlands, CA). En la figura se observa resaltado con una línea roja el ícono con el que es posible abrir las capas de información geográfica, así como también el ícono con el que se buscará y enlazará la carpeta “Catalogo Mapas”.

- **Revisión de los shapefiles**

Una vez abiertos los archivos “cue250k_07cw” y “usv250s7gw” que corresponden a las cuencas hidrográficas y al uso de suelo y vegetación respectivamente, es importante considerar que ArcMap toma el sistema de coordenadas de la primera capa que se abrió y las “empatará” con las siguientes capas que se abran. Sin embargo, a continuación se explica el proceso a llevar a cabo para re proyectar las capas.

Primero, se debe seleccionar con clic derecho una por una las capas en la ventana de “Layers” situada en la parte izquierda de la pantalla del programa y dar clic en “properties...”. La ventana emergente te mandará directamente a la sección de información de los shapefiles, en la cual podrás observar varios de los datos de tus archivos; lo que nos va a interesar aquí es la ventana “Source”, en donde se buscará los sistemas de coordenadas de ambas capas.

Una vez identificadas las proyecciones, en la parte derecha del programa en la ventana de “Attributes” podrás observar un botón con la palabra “Search”, da clic en él y en la nueva ventana escribe “Project” y da enter. Se desplegará una lista de comandos de entre los cuales deberás seleccionar “Project (Data Management)”.

Dentro del menú de la herramienta, lo primero será elegir la capa que se desea cambiar en la primera casilla, que corresponde a la capa de entrada. Después, en la casilla de archivo de salida es importante buscar la carpeta, en este caso “Catalogo Mapas”, y nombrar la capa que se va a crear, en este caso “USVrepro”. Por último, en la casilla de sistema de coordenadas de salida da clic en el ícono de la mano: se desplegará una nueva ventana donde verás varias carpetas. Posteriormente, la forma más sencilla de encontrar la proyección que es de interés es buscar la última carpeta llamada “Layers”, la cual mostrará los sistemas de coordenadas de las capas abiertas; da clic y selecciona una opción disponible y después es posible correr la función (figura 3).

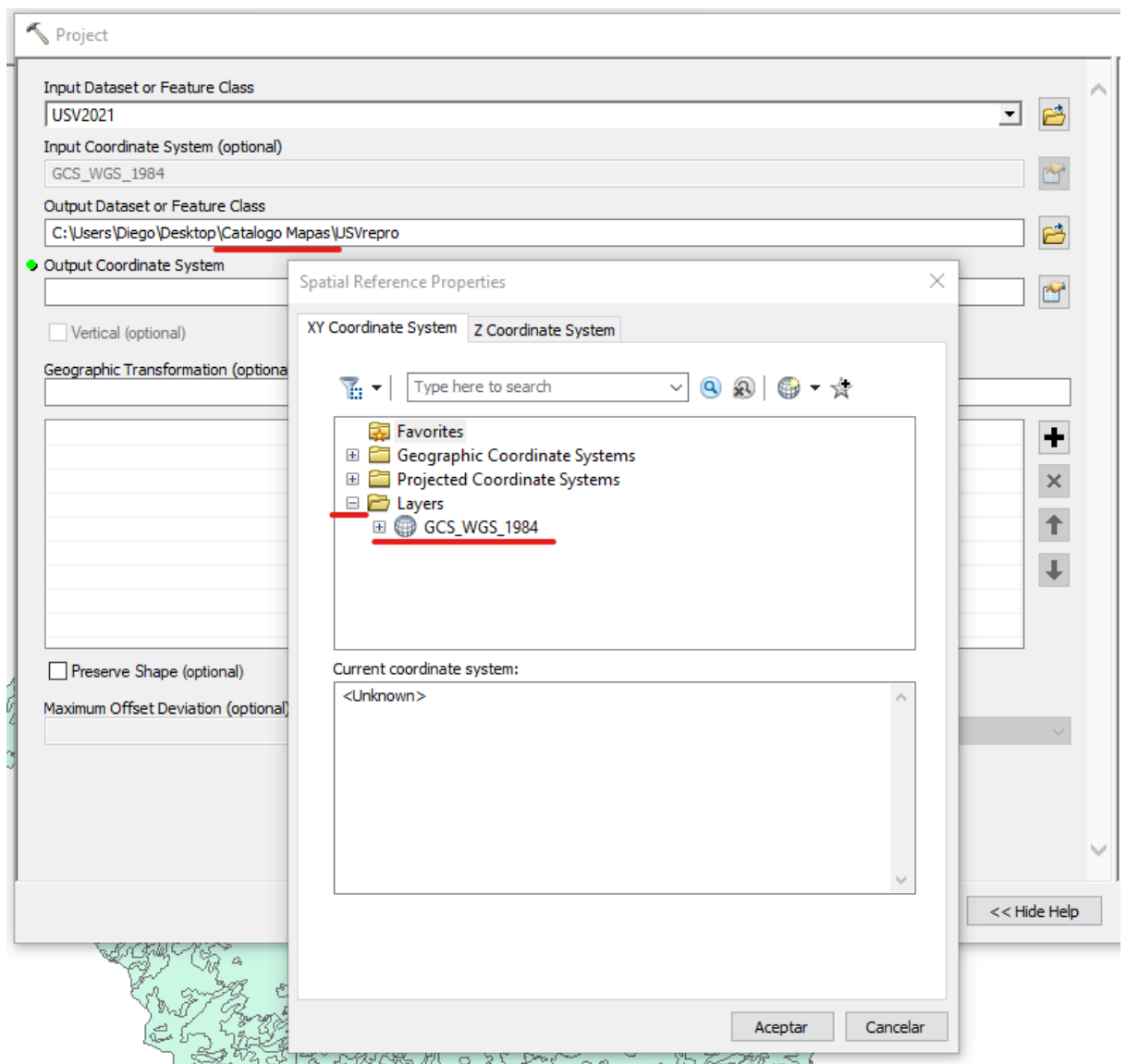


Figura 3. Uso de la herramienta Project de ArcMap (ESRI, Redlands, CA). En la imagen se muestra y se resaltan los pasos a seguir para poder ejecutar la reproyección de una capa.

- **Procesamiento**

Teniendo listas las dos capas con el mismo sistema de coordenadas, el siguiente paso es recortar la capa del “uso del suelo y vegetación” a la región correspondiente a la Cuenca de México. Para esto seleccionaremos en la ventana de capas la que corresponde a las cuencas, daremos clic derecho y abriremos la tabla de atributos. A continuación verás una base de datos, tómate tu tiempo para entender la información que contiene la capa. Ahora, en la parte superior deberás dar clic en el primer ícono llamado “Table Options” y seleccionar la opción “Find and Replace...”, Una vez desplegada la ventana, en el apartado “Find” escribe “Cuenca de México” y da clic en “Find Next”; hecho esto podemos cerrar la ventana y una vez identificada la celda pasaremos al principio de la fila y daremos clic en la primera casilla para seleccionar el objeto (figura 4).

FID	Shape	AREA	PERIMETER	COV_	COV_ID	CODIGO	AREA_M	PERIMETRO	TOPONIMO	
1139	Polygon	0.890015	5.898628	1141	4457	CH_1106	10257878306.122	634009.649	Río Armería	Co
1140	Polygon								Río Tabo	Ja
1141	Polygon								Caleta Tula	Ja
1142	Polygon								Ensenada Corrales	Ja
1143	Polygon								Arroyo Isatán	Ja
1144	Polygon								Río Tomatlán	Ja
1145	Polygon								Arroyo Vichichin	Ja
1146	Polygon								Arroyo Del León	Ja
1147	Polygon								Río Arroyo Blanco	Pu
1148	Polygon								Río Ipala	Ja
1149	Polygon								Arroyo Los Conejos	Ja
1150	Polygon								Río Bobos	Pu
1151	Polygon								Río María García	Ja
1152	Polygon								Río San Nicolás	Ja
1153	Polygon	0.006941	0.448621	1155	4473	CH_1120	79710294.866	47867.868	Arroyo La Boquita	Ja
1154	Polygon	0.051133	1.467646	1156	4470	CH_1118	588366626.508	157939.152	Río Mizantla	Ve
1155	Polygon	0.128621	1.867354	1157	4477	CH_1014	1479320797.602	199939.669	Lago Sayula	Ja
1156	Polygon	0.798859	4.775743	1158	4474	CH_1121	9219294408.392	511717.762	Cuenca de México	Di
1157	Polygon	0.003494	0.30493	1159	4476	CH_1123	40145660.402	32508.515	San Carlos (localidad)	Ja
1158	Polygon	0.000949	0.150625	1160	4478	CH_1124	10903264.483	16006.947	Majahuitas (localidad)	Ja

Figura 4. Seleccionar elementos en la tabla de atributos de un archivo shape en ArcMap (ESRI, Redlands, CA). En la imagen es posible observar resaltado con líneas rojas el ícono del menú de la tabla de atributos y el nombre del elemento de nuestro interés.

Hecho esto, cierra la ventana de la tabla de atributos y notarás que hay una región resaltada con color amarillo, la cual corresponde a la Cuenca de México. Ahora podrá recortar el uso de suelo y vegetación (USV) en el área de la Cuenca de México.

En la parte superior de la pantalla del programa encontrarás un menú llamado “Geoprocessing” en el cual deberás seleccionar la opción “Clip”. En la capa de entrada se debe poner la capa de la información deseada, en este caso USV, mientras que en la capa de superposición se debe colocar la capa que contiene los polígonos que se desea cortar, en este caso la capa de cuenca. El tercer campo sirve para destinar la dirección y el nombre con el que se guardará el recorte;

deberás dar clic en el ícono de la carpeta y en la nueva ventana nombre la nueva capa, en este caso “USV2021”. Para terminar, deja vacío el último campo y podrás correr el proceso sin ninguna otra consideración, ya que al haber seleccionado el polígono de la Cuenca de México se cortará automáticamente sólo esa área.

Como resultado se habrá creado una capa “USV2021”, de la cual podrás notar, abriendo la tabla de atributos, que contiene los polígonos del tipo de vegetación y uso de suelo que se encuentran únicamente dentro de la Cuenca de México (el polígono de corte). Ahora se podrá agregar una nueva columna en la tabla de atributos de nuestro archivo que contendrá una sigla que será identificada también por *FRAGSTATS*.

- ***Exportación y reclasificación de datos***

Antes de agregar y llenar la columna que será utilizada por *FRAGSTATS*, se deberá analizar, simplificar y adecuar los datos del archivo con ayuda de Excel. Abre la caja de herramientas y en la categoría de herramientas de conversión habrá la subcategoría Excel, donde encontrarás dos procesos, da clic en “Table To Excel”. Selecciona “USV2021” como la tabla de entrada y en la parte del archivo de salida se le dará clic en el ícono de la carpeta para poder guardar la tabla en tu carpeta “Catalogo de Mapas” (figura 5).

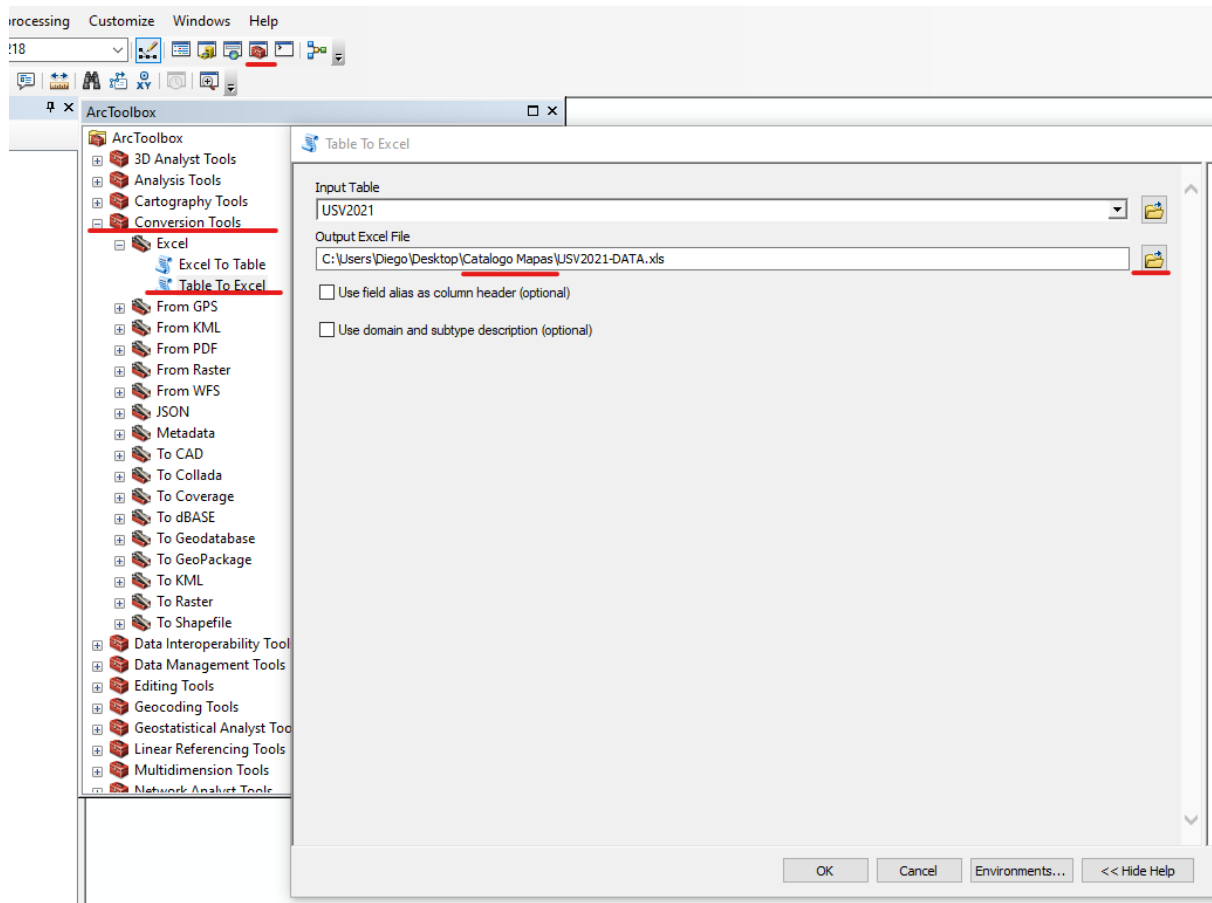


Figura 5. Exportando los datos en ArcMap (ESRI, Redlands, CA). En la imagen es posible observar de lado izquierdo el menú de la caja de herramientas en las que encontrará las herramientas para exportar la tabla de atributos resaltados.

Abre el archivo de Excel creado, selecciona y copia las columnas de “CLAVE” y “DESCRIPCIO” y pega los elementos seleccionados en una nueva hoja de cálculo. Después selecciona ambas columnas y usa la opción de eliminar duplicados, ubicada en la pestaña de datos de Excel. Una vez obtenidas todas las categorías únicas se recomienda ordenarlas por orden alfabético de la columna “DESCRIPCIO”. Como se mencionó antes, se debe simplificar y adecuar de acuerdo con las necesidades y objetivos de estudio, por lo que para esta práctica se crearán nueve categorías (cuadro 1) para cada uno de los valores únicos (cuadro 2).

RECLASIFICIÓN	SIGLA
Agricultura	AGR
Latifoliadas	LAT
Coníferas	CON
Coníferas y latifoliadas	CYL
Cuerpos de agua y humedales	H2O
Matorral	MAT
Pastizal	PAS
Desprovisto de vegetación	DES
Zona Urbana	URB

Cuadro 1. Reclasificación de los datos. En la imagen se observa una tabla con los caracteres únicos de los diferentes tipos de vegetación a usar y sus respectivas siglas.

Antes de continuar da clic derecho a la capa “USV2021”, busca la sección “Edit Features” y selecciona la opción “Start Editing”. Hecho esto, abre la tabla de atributos y da clic en el icono del menú de la tabla y selecciona la opción “Add Field...”. Nombra la nueva columna como “SIGLA” y en la opción “Type” seleccionará la opción de texto.

En la nueva columna en blanco podrás copiar las claves del archivo dando primero un clic izquierdo en la casilla “SIGLA” para seleccionar la columna y, posteriormente, clic derecho en la misma casilla y selecciona “Field Calculator...”, dentro de la calculadora verás de lado izquierdo todos los campos que componen los datos del archivo, da doble clic en “CLAVE” y nota que en la parte de abajo aparece el campo dentro de corchetes, hecho esto continúa dando clic en “OK”.

CLAVE	DESCRIPCIO	SIGLA
HA	AGRICULTURA DE HUMEDAD ANUAL	AGR
RA	AGRICULTURA DE RIEGO ANUAL	AGR
RAP	AGRICULTURA DE RIEGO ANUAL Y PERMANENTE	AGR
RAS	AGRICULTURA DE RIEGO ANUAL Y SEMIPERMANENTE	AGR
RS	AGRICULTURA DE RIEGO SEMIPERMANENTE	AGR
TA	AGRICULTURA DE TEMPORAL ANUAL	AGR
TAP	AGRICULTURA DE TEMPORAL ANUAL Y PERMANENTE	AGR
TAS	AGRICULTURA DE TEMPORAL ANUAL Y SEMIPERMANENTE	AGR
TP	AGRICULTURA DE TEMPORAL PERMANENTE	AGR
TS	AGRICULTURA DE TEMPORAL SEMIPERMANENTE	AGR
TSP	AGRICULTURA DE TEMPORAL SEMIPERMANENTE Y PERMANENTE	AGR
AH	ASENTAMIENTOS HUMANOS	URB
BC	BOSQUE CULTIVADO	CYL
BQ	BOSQUE DE ENCINO	LAT
BQP	BOSQUE DE ENCINO-PINO	CYL
BA	BOSQUE DE OYAMEL	CON
BP	BOSQUE DE PINO	CON
BPQ	BOSQUE DE PINO-ENCINO	CYL
BJ	BOSQUE DE TÁSCATE	CON
H2O	CUERPO DE AGUA	H2O
ADV	DESPROVISTO DE VEGETACIÓN	DES
MC	MATORRAL CRASICAULE	MAT
MDR	MATORRAL DESÉRTICO ROSETÓFILO	MAT
MSC	MATORRAL SARCOCAULE	MAT
PC	PASTIZAL CULTIVADO	PAS
PH	PASTIZAL HALÓFILO	PAS
PI	PASTIZAL INDUCIDO	PAS
VW	PRADERA DE ALTA MONTAÑA	PAS
DV	SIN VEGETACIÓN APARENTE	DES
VT	TULAR	H2O
VHH	VEGETACIÓN HALÓFILO HIDRÓFILO	H2O
VSA/BQ	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE BOSQUE DE ENCINO	LAT
VSA/BQP	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE BOSQUE DE ENCINO-PINO	CYL
VSA/BA	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE BOSQUE DE OYAMEL	CON
VSA/BP	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE BOSQUE DE PINO	CON
VSA/BPQ	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE BOSQUE DE PINO-ENCINO	CYL
VSA/BJ	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE BOSQUE DE TÁSCATE	CON
VSa/BQ	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE ENCINO	LAT
VSa/BQP	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE ENCINO-PINO	CYL
VSa/BA	VEGETACION SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE OYAMEL	CON
VSa/BP	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE PINO	CON
VSa/BPQ	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE PINO-ENCINO	CYL
VSa/BJ	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE TÁSCATE	CON
VSa/MC	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE MATORRAL CRASICAULE	MAT
VSh/BQ	VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE BOSQUE DE ENCINO	LAT

Cuadro 2. Atributos de la capa de uso de suelo y vegetación. En el cuadro se enlistan los diferentes tipos de vegetación de la capa “USV2021” junto con las siglas de su reclasificación de lado derecho.

Antes de continuar, deberás dar clic derecho a la capa “USV2021”; selecciona “Edit Features” y la opción “Start Editing”. Posteriormente, se debe abrir la tabla de atributos y dar clic en el ícono del menú de la tabla para seleccionar la opción “Add Field...”. Nombra la nueva columna como “SIGLA” y en la opción “Type” selecciona la opción de texto.

Ahora en la nueva columna en blanco procede a copiar las claves dando primero un clic izquierdo en la casilla "SIGLA" para seleccionar la columna y posteriormente clic derecho en la misma casilla y selecciona "Field Calculator..." Dentro de la calculadora verás de lado izquierdo todos los campos que componen los datos de nuestro archivo, da doble clic en "CLAVE" y notarás que en la parte de abajo aparece el campo dentro de corchetes, permita continuar dando clic en "OK".

Para sustituir los campos en la columna "SIGLA", dentro del menú de las opciones de la tabla selecciona "Find and Replace..." Apoyate con el archivo de Excel para las reclasificaciones, poniendo arriba la sigla a cambiar y en la parte de abajo la sigla que deseamos; es importante que en la opción "Text Match" selecciones "Whole field" y la casilla "Match Case" con la finalidad de evitar errores cuando algún campo tenga letras que coincidan y por último usa la opción "Replace All". Es muy importante que observes que no haya errores con cada cambio realizado. Una vez terminado este proceso, cierra la tabla de atributos. Nota que una pequeña ventana en la pantalla llamada "Editor" al ser seleccionada despliega el menú; es momento de guardar las ediciones para la edición de las capas.

- ***Rasterización***

Ya teniendo el archivo listo, como siguiente paso debe rasterizar la capa, es decir, convertir la capa a un archivo de tipo raster. Abre la caja de herramientas y busca en la sección "Conversion Tools" la subsección "To Raster" y selecciona la función "Polygon to Raster". Dentro de la ventana de la función selecciona "USV2021" como la capa de entrada, en el campo de valor selecciona el campo "SIGLA" que ha creado con las reclasificaciones de los tipos de vegetación y por último indica al programa que guarde el raster en la carpeta "Catalogo Mapas", en este caso con el nombre "USV2021-RAS". Las demás opciones se pueden dejar por defecto. Hecho esto deberás obtener un archivo que luzca como la figura 6.

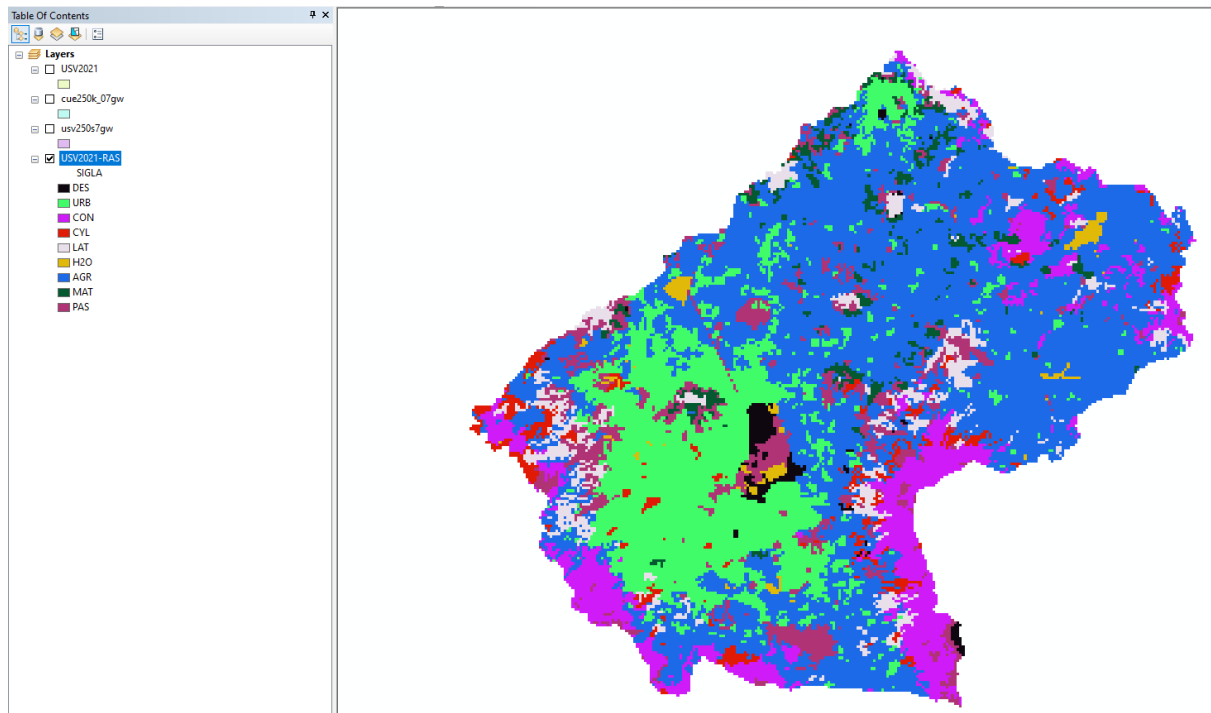


Figura 6. Raster resultado del proceso “Polygon to Raster” en ArcMap (ESRI, Redlands, CA). En la figura se observa el mapa tipo raster de resultado y del lado izquierdo puede observar el color que corresponde a cada sigla o tipo de vegetación.

Posteriormente, dentro de ArcMap da clic izquierdo en la capa tipo raster, desliza el cursor a la parte de “Data” y selecciona “Export Data”. En la ventana selecciona la casilla “Square” y en “Cell Size (cx, cy)” cambia el tamaño a 50 metros con la finalidad de hacer más finas las celdas. Automáticamente cambiará la casilla de al lado y escribiremos en la casilla “NoData as” un valor -99. Por último, indica al programa que guarde el archivo como formato TIFF (.tif), busque la carpeta “Catalogo Mapas” y nombra el archivo como “USV2021-TF”; luego guarda el archivo (figura 7).

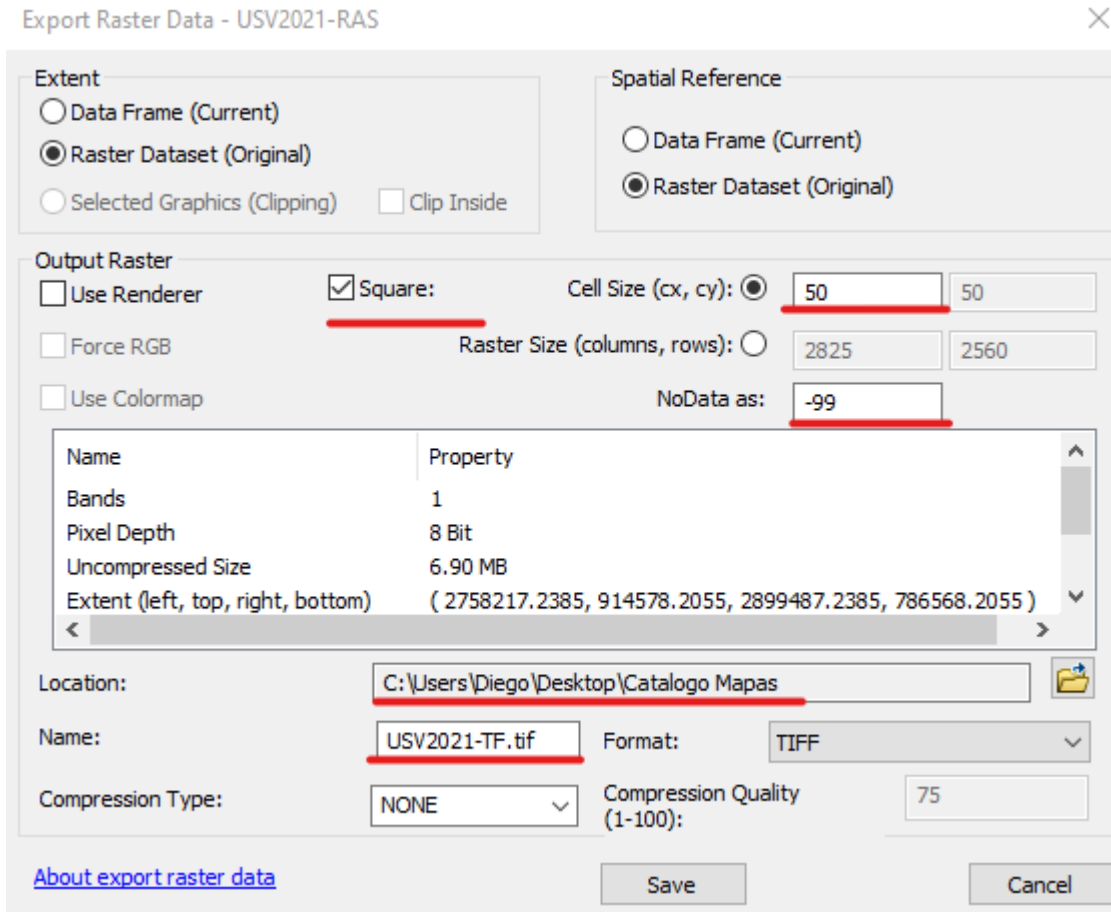


Figura 7. Exportación del archivo raster. En la figura se resalta la casilla a seleccionar, los valores que debe cambiar, la dirección y formato del archivo.

Guía para usar *FRAGSTATS*

FRAGSTATS es un programa que brinda información cuantitativa y cualitativa sobre los atributos del paisaje para el análisis de patrones espaciales y cuantificar la estructura (composición y configuración) del paisaje. Se encarga de cuantificar la heterogeneidad espacial del paisaje como se representa en un mapa categorial o una superficie continua.

- **Requerimientos**

Para usar *FRAGSTATS* solo es necesario que la computadora cuente con memoria RAM superior a 4GB. Por otro lado, las capas para analizar deben estar en formato raster, deben tener una proyección definida y el mismo origen X, Y de raster para que ajusten todas las coberturas. El tamaño del píxel o de la celda debe ser >0.001 m. La forma del píxel o celda debe ser cuadrada y su tamaño debe estar definido en metros. La capa raster debe tener una extensión máxima de 10,000 por 10,000 píxeles o celdas y cada una debe ser de tipo signed integer o unsigned integer

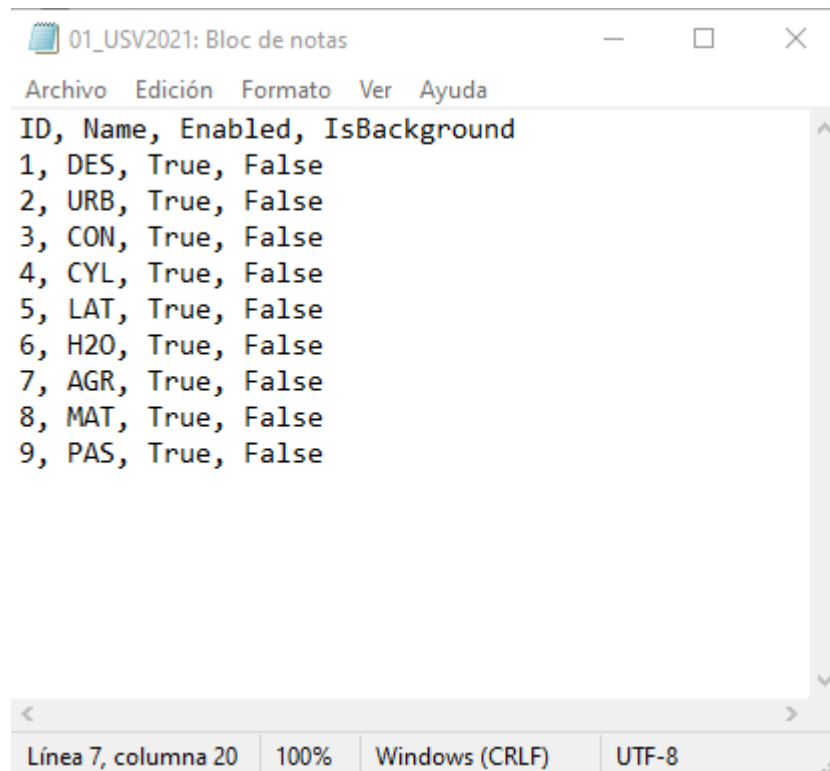
(cuando no hay borde definido). Los valores de celda deben ser números enteros y con signo (+ o -) que correspondan a su clase. Los límites o el borde se deben establecer con números negativos, mientras que las clases se diferenciarán con números positivos. Es muy importante que la capa raster no contenga valores "NoData" y cada capa deberá estar en una carpeta específica en el ordenador.

FRAGSTATS puede trabajar con archivos de tipo RAW ASCII grid, Raw de 8-32-bit integer grid, ESRI gris, GeoTiff grid (.tif), VTP binary terrain format grid (.bt), ESRI header labelled grid (.bil), ERDAS Imagine grid (.img), PCRaster grid (.map) y SAGA Gis binary format grid (.sdatt). Para cada tipo de capa, se deben tomar en consideración las especificaciones que marca el manual.

- **Estableciendo los descriptores de clase**

Antes de proceder a abrir *FRAGSTATS* se debe crear un archivo en un bloc de notas, que servirá para: 1) especificar los descriptores para cada clase con el fin de facilitar la interpretación de los resultados, 2) limitar los archivos de salida a exclusivamente las clases de nuestro interés, y 3) reclasificar las clases al fondo.

Dicho archivo debe tener un valor de clase numérica (ID), un descriptor para cada tipo de parche (Name), un indicador logístico de estado y un indicador de fondo local (IsBackground). En la figura 8 se muestra el archivo creado para este caso en donde se puede observar que el segundo elemento corresponde a las siglas de tipos de vegetación y uso de suelo. Cabe destacar que cada elemento debe estar separado por una coma y un espacio. Una vez terminado da clic en "Archivo" y "Guardar como...", renombrando este archivo como "01_USV2021", y almacénalo en la carpeta "Catalogo Mapas".



The screenshot shows a Notepad window titled "01_USV2021: Bloc de notas". The menu bar includes "Archivo", "Edición", "Formato", "Ver", and "Ayuda". The text content is as follows:

```
ID, Name, Enabled, IsBackground
1, DES, True, False
2, URB, True, False
3, CON, True, False
4, CYL, True, False
5, LAT, True, False
6, H2O, True, False
7, AGR, True, False
8, MAT, True, False
9, PAS, True, False
```

The status bar at the bottom indicates "Línea 7, columna 20", "100%", "Windows (CRLF)", and "UTF-8".

Figura 8. Formato del archivo para clasificar las clases. Formato final del archivo .txt para describir las clases de tipos de parches que se analizarán en *FRAGSTATS*.

- **Estableciendo el contraste de borde (opcional)**

Dentro de las métricas que se pueden obtener en *FRAGSTATS* está el *índice de contraste de borde*, este índice puede resultar útil para estudiar varios procesos ecológicos que pueden estar influyendo en el aislamiento de un parche como lo son los cambios microclimáticos, los patrones de dispersión y supervivencia de los organismos y la accesibilidad de estos a los recursos en parches adyacentes (McGarigal, 2015). El contraste se define como la diferencia entre parches adyacentes tomando como referencia uno o más atributos ecológicos en una escala que resulte relevante para un organismo, proceso o fenómeno que se esté estudiando (McGarigal, 2015).

Para poder realizar el análisis y obtener las métricas de interés es necesario crear una tabla en la que se asignen valores que funcionen como una magnitud de contraste para cada uno de los tipos de clases de parches. Esta tabla debe ser una matriz cuadrada cuyos datos sean simétricos, es decir, que los triángulos superior derecho e inferior izquierdo deben ser reflejo uno del otro. Dichas mitades son fácilmente identificables por una clara diagonal con un valor de 0 que indican una comparación entre parches del mismo tipo. Es posible apoyarse de un archivo de Excel o cualquier otro programa de hojas de cálculo para realizar la tabla, empatando en filas y columnas las claves o los valores únicos del paisaje e ir llenando la escala de contraste (figura 9). Hecho esto es importante borrar los

encabezados de filas y columnas, mover los valores a las primeras celdas de la hoja de cálculo y guardar la hoja; en este caso se guardó con el nombre de “Contraste 2” en la carpeta “Catalogo Mapas”, como un archivo delimitado por comas (.csv). Esto se hace con la finalidad de que, al abrir este archivo en el bloc de notas, los valores se encuentren listos y solo haga falta agregar dos elementos más que veremos más adelante (figura 10).

	DES	URB	CON	CYL	LAT	H2O	AGR	MAT	PAS
DES	0	0.3	1	1	1	1	1	1	1
URB	0.3	0	1	1	1	1	1	1	1
CON	1	1	0	0.3	0.5	0.7	1	1	1
CYL	1	1	0.3	0	0.3	0.7	1	1	1
LAT	1	1	0.5	0.3	0	0.7	1	1	1
H2O	1	1	0.7	0.7	1	0	0.8	0.7	1
AGR	1	1	1	1	1	0.8	0	0.5	0.4
MAT	1	1	1	1	1	1	0.5	0	0.3
PAS	1	1	1	1	1	1	0.4	0.3	0

Figura 9. Tabla de apoyo de valores de contraste. En la imagen se puede observar los valores de magnitud y los tipos únicos de vegetación de color verde formando una diagonal que separa los triángulos superior e inferior marcados en azul.

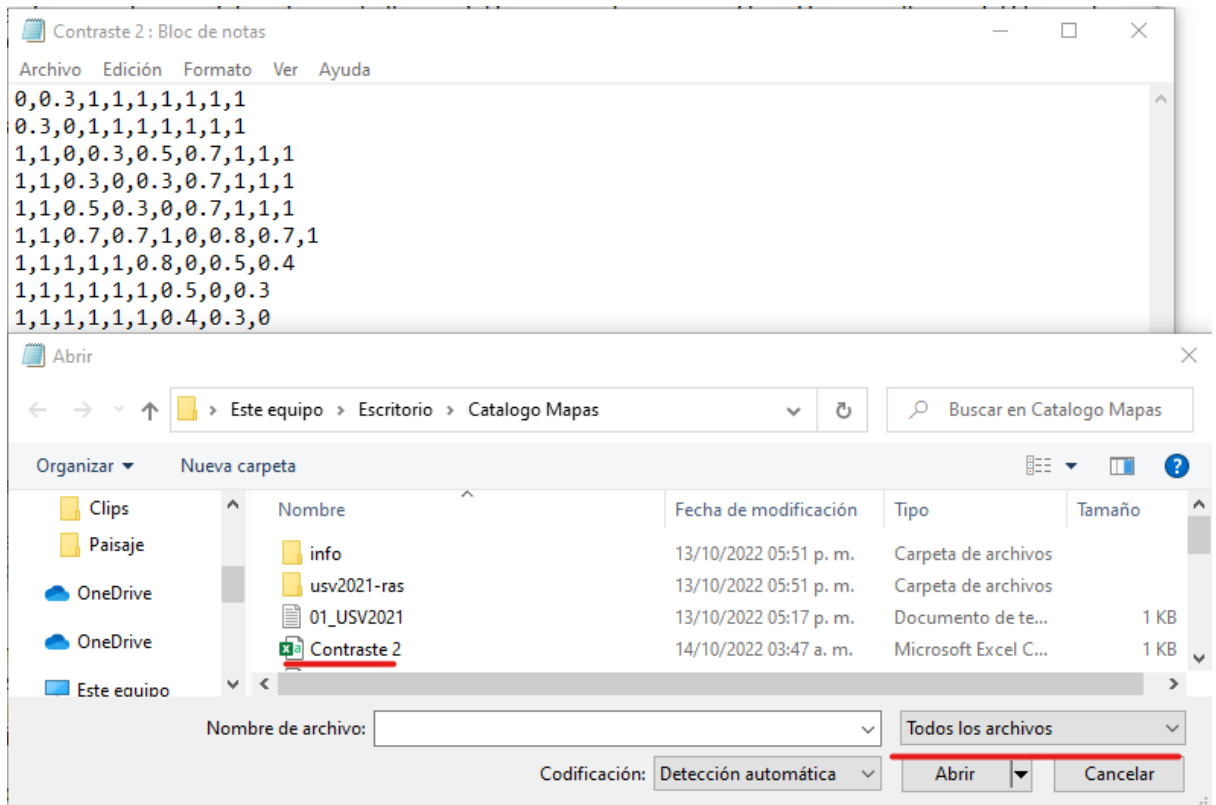


Figura 10. Valores de magnitud de contraste. En la parte superior de la imagen se señala que es necesario cambiar el tipo de archivo que busca el bloc de notas para que pueda abrir el archivo .csv, mientras que en la parte superior se puede ver cómo aparecerán los datos una vez abiertos.

Para crear esta tabla se puede emplear cualquier editor de texto y guardarla como un archivo delimitado por comas (.csv). Dicho archivo debe tener la siguiente sintaxis:

```

FSQ_TABLE
CLASS_LIST_LITERAL(Nombre1aClase, Nombre2aClase, etc...)
CLASS_LIST_NUMERIC(ID1aClase, ID1aClase, etc...)
PesoContraste_1-1, PesoContraste_1-2, etc...
PesoContraste_2-1, PesoContraste_2-2, etc...
Etc...

```

Donde:

- **FSQ_TABLE** corresponde al título de la tabla y debe ser especificado en la primera línea.
- **CLASS_LIST_LITERAL()** y **CLASS_LIST_NUMERIC()**, sirven para enlistar el nombre literal de las clases y los valores asignados respectivamente. Cabe destacar que solo es necesario emplear uno de estos clasificadores; deben ser separados por comas y no tener espacios.

- Las siguientes filas son un valor numérico que va desde 0 (no hay contraste) a 1 (contraste máximo); que representan la magnitud de contraste entre las combinaciones únicas de cada uno de los tipos de parche en el paisaje a analizar.

Una vez que está lista la matriz numérica, agrega los dos primeros elementos de la tabla, de tal manera que el archivo quede igual a la figura 11. Hecho esto, guarda el archivo en “Catalogo Mapas” con la opción “Guardar como...” como “Contraste.csv”. Es importante que el nombre del archivo contenga la terminación .csv para que así el bloc de notas lo guarde automáticamente como uno delimitado por comas y no como un archivo de texto común.

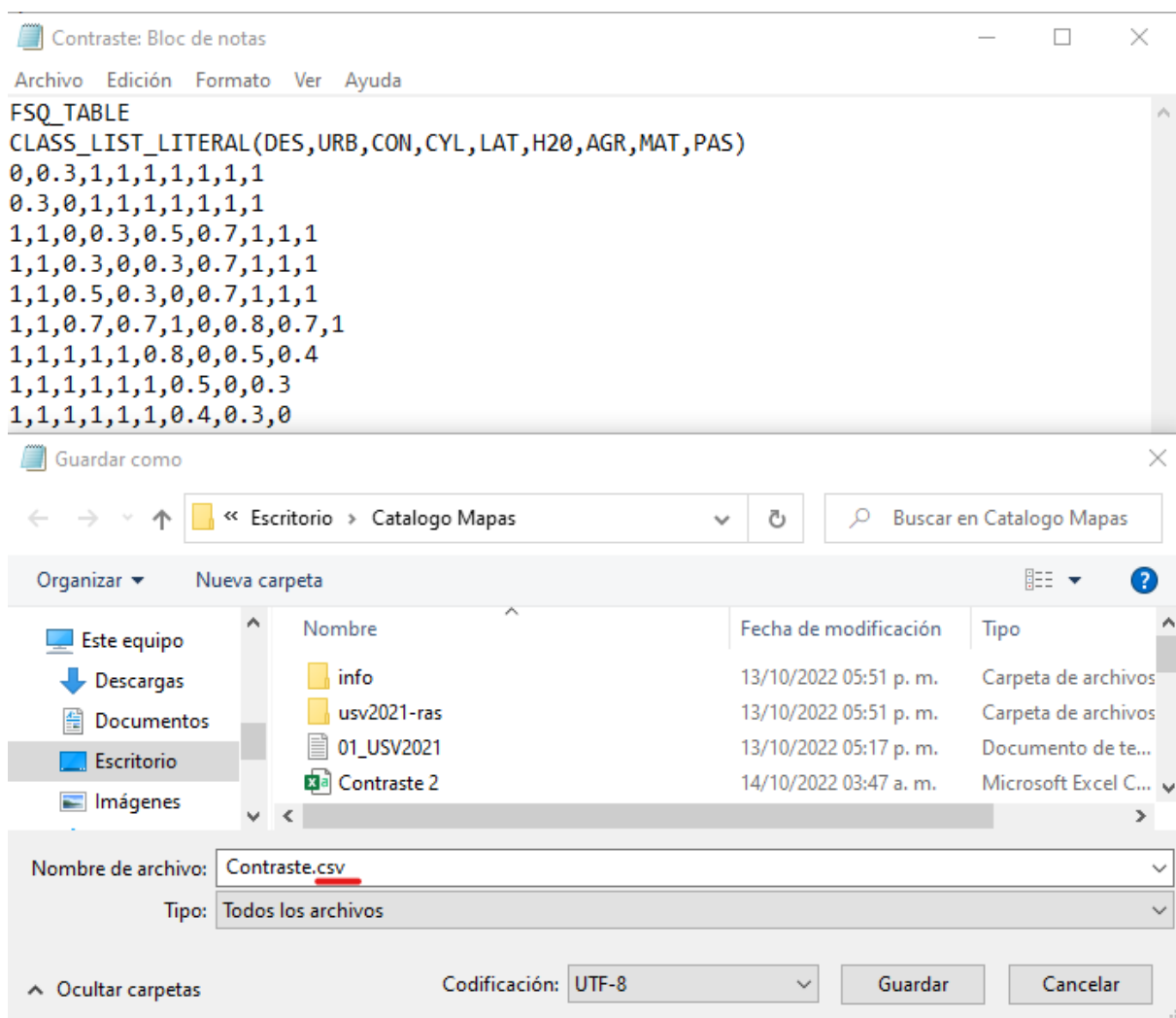


Figura 11. Formato final de la tabla de contraste de borde. Se muestra en esta figura el archivo listo para utilizarse y se resalta la terminación del archivo para que se guarde como uno delimitado por comas.

- **Estableciendo celdas sin datos, borde y fondo**

Los archivos de imagen con los que trabaja *FRAGSTATS* contienen valores **NoData**, **background** y/o **border**, los cuales están marcados con algún valor que debe ser asignado por el usuario.

- ❖ **NoData:** Hace referencia a las áreas que no cuentan con una clasificación en la cuadrícula del archivo y que pueden estar tanto dentro como fuera de los límites del paisaje. Es importante mencionar que a las celdas sin información se les asigna automáticamente un valor negativo (-99) y que son consideradas como celdas externas y por ende ignoradas.
- ❖ **Background:** El fondo es un área indefinida que puede existir tanto dentro como fuera del paisaje de estudio y pueden presentar valores negativos y positivos. Hay que asegurar que el valor dado a las celdas que se considerarán como fondo sea de -99 y que las clases de tipos de parches deberán presentar un valor positivo para que sean consideradas como dentro del paisaje. Las clases con valores positivos serán analizadas, las celdas con valores negativos serán excluidas del paisaje y si no presentan valores numéricos son tomadas como NoData.
- ❖ **Border:** El borde es una línea de terreno que rodea el paisaje y en la que los parches han sido delineados y clasificados. Esta línea debe tener un valor negativo que corresponda con el número de código del tipo de clase de parches a evaluar. Por ejemplo, si el código de una clase es de 1, entonces las celdas de la misma clase, pero que deberán ser excluidas del análisis, deberán tener un valor igual -1; la línea que se dibuja entre estos valores será considerada el borde.

- **Ejecución del programa**

Después de un poco de teoría, ahora es posible trabajar con *FRAGSTATS*. Al abrir el programa notará que la pantalla se encuentra vacía; para iniciar un proyecto busque en la parte superior izquierda un icono de una hoja que diga “New” y comience.

El primer paso es agregar el archivo al programa; para esto, en la parte superior izquierda del programa, en la sección “Input layers”, da clic en el botón “Add layer...” y aparecerá una ventana nueva. Para empezar, en la parte izquierda debe indicar al programa el tipo de archivo que deberá buscar. Seleccione la opción “Geo TIFF grid (.tif)”, que en este caso corresponde a la capa creada como insumo para el análisis. Hecho esto, ahora en la parte de la izquierda da clic en el botón con puntos suspensivos (...) y en la nueva ventana busque la carpeta “Catalogo Mapas” y selecciona el archivo “USV2021-TF”, que deberá ser el único en aparecer (figura 12).

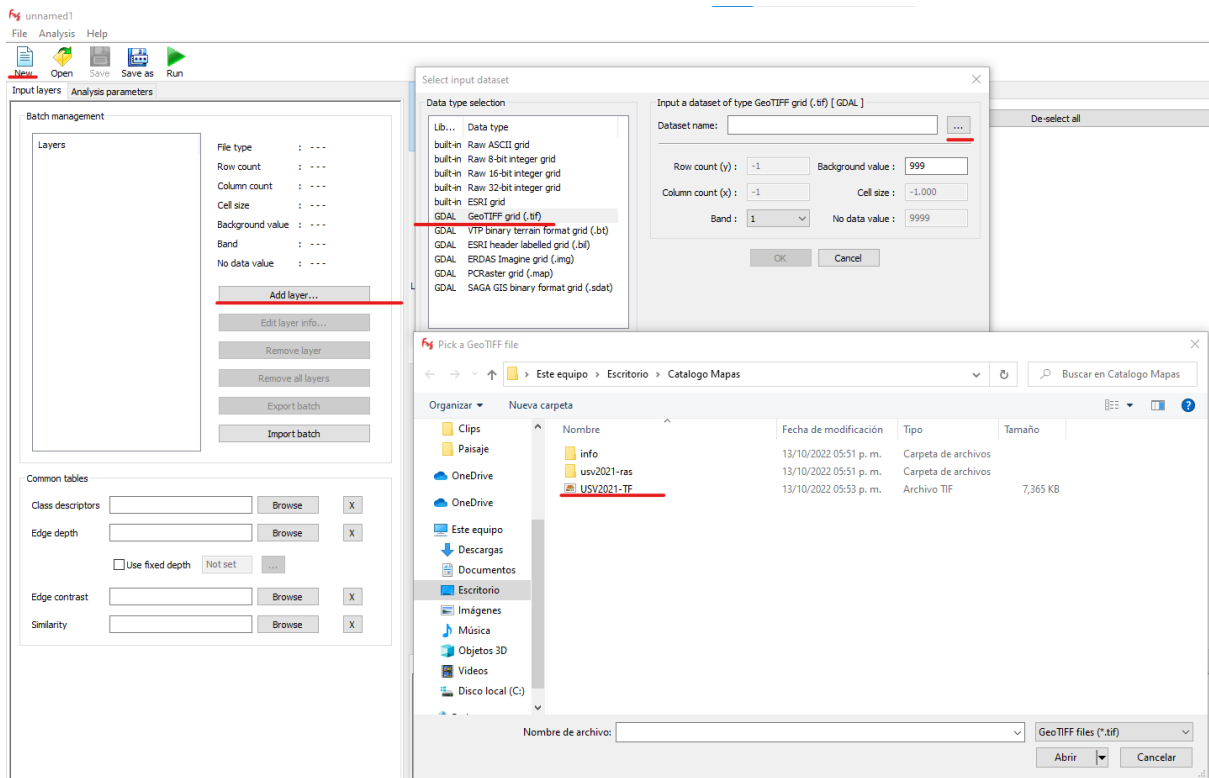


Figura 12. Primeros pasos dentro de FRAGSTATS. En la imagen se señala el ícono para comenzar un nuevo proyecto dentro del programa, así como también los botones y formatos para abrir el archivo con el que se ejecutará el análisis.

Posteriormente, en la ventana izquierda aparece la dirección del archivo y al seleccionarla podrá ver los datos. Ahora debes abrir el archivo de texto (.txt) creado en el bloc de notas con los descriptores de clase. En la misma ventana donde abriste el archivo TIFF (.tif), en la parte inferior encontrarás la sección “Common tables”; selecciona en el recuadro de “Class descriptors” el botón “Browse”. Por defecto el programa debe mandarte directo a la carpeta “Catalogo Mapas” pero notarás que no hay ningún archivo. En la parte inferior derecha selecciona la opción “All files (*.*)” y ahora aparecerán todos los archivos y podrás seleccionar el documento de texto “01_USV2021” (figura 13). Para asignar los valores de contraste de borde, realiza el mismo proceso que con los descriptores de clase, pero en la sección “Edge Contrast” situada más abajo en la misma ventana.

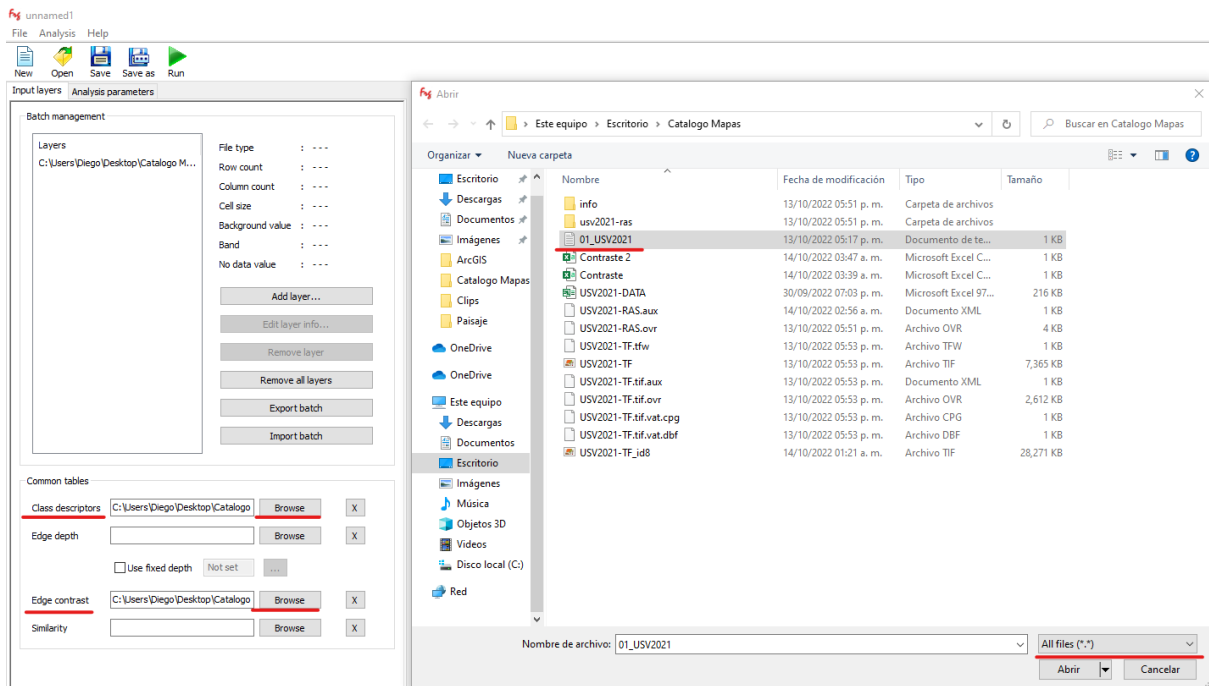


Figura 13. Asignando los descriptores de clase y contraste de borde. En la imagen se resaltan los pasos y botones que se necesitan para abrir el archivo de texto (.txt) donde se indican los descriptores de clase de los parches, así como el recuadro donde abrirá el archivo de contraste de borde.

Después debes seleccionar los parámetros del análisis en la pestaña con el mismo nombre en la ventana de la izquierda. La primera opción de la sección “General options” puedes dejarla por defecto y el programa usará la regla de celdas de vecindad, activa la casilla de abajo para guardar automáticamente los resultados, da clic en “Browse” y crea una nueva carpeta llamada “Resultados” dentro de la carpeta “Catalogo Mapas” y guarda en la nueva carpeta los archivos de salida como “USV2021”. Después, más abajo en “Sampling strategy” selecciona la opción “No sampling” y activa los recuadros con los tres niveles: parche, clase y paisaje (figura 14).

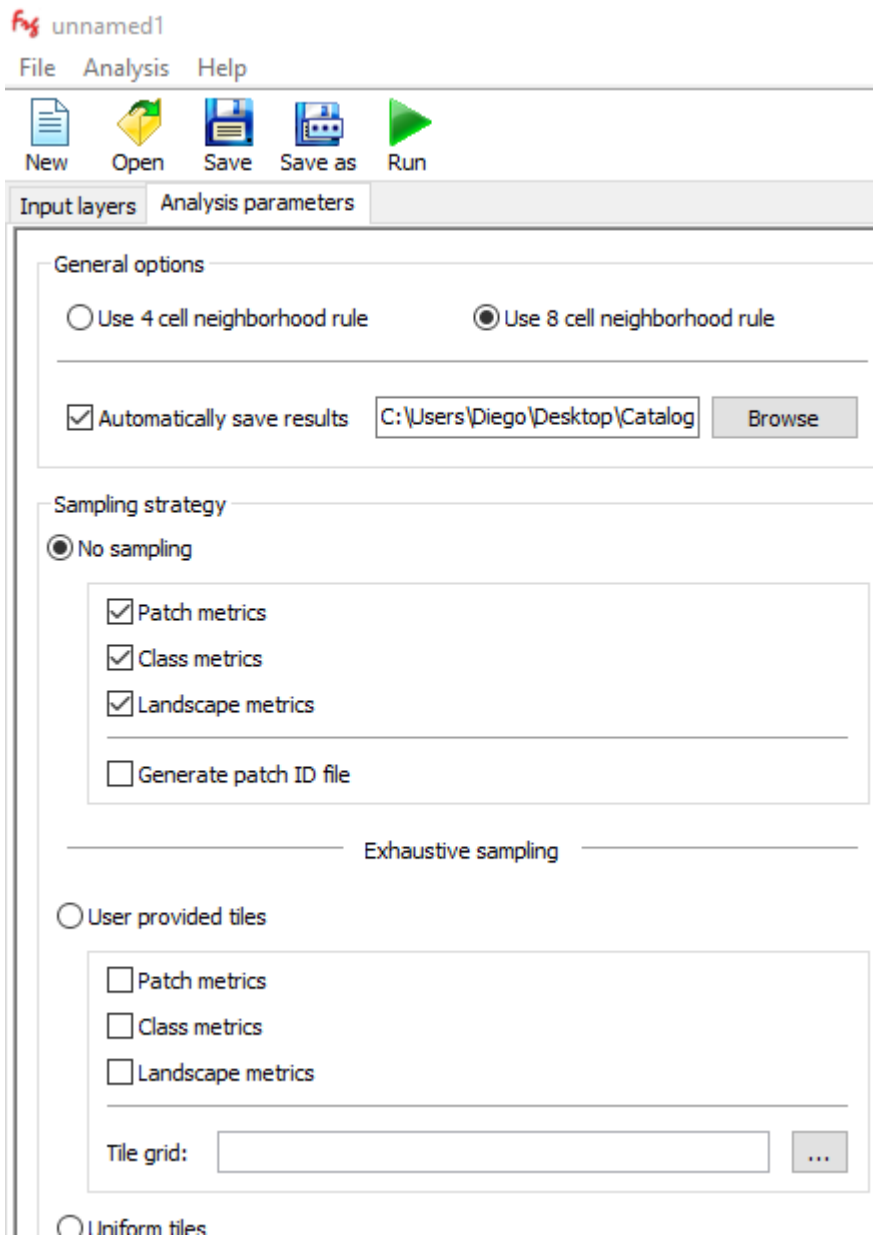


Figura 14. Parámetros del paisaje y estrategia de muestreo que serán empleados. En la figura se observan los primeros parámetros para el diseño del modelo de análisis de paisaje.

- **Elección de las métricas**

FRAGSTATS es capaz de calcular una gran variedad de métricas para caracterizar la heterogeneidad del paisaje. Los tipos de métricas que es posible calcular con *FRAGSTATS* pueden ser de dos tipos (McGarigal, 2015):

1. Estructurales: Miden la composición física o la configuración del mosaico de parches sin referencia explícita a un proceso ecológico.
2. Funcionales: Miden explícitamente el patrón del paisaje de manera que sea funcionalmente relevantes para el organismo o proceso de estudio.

Además, es posible calcular métricas con base en tres niveles de organización jerárquica y lógica, en conjunto con métricas estadísticas, estos niveles son:

1. Parche: Las métricas abordan el carácter espacial y el contexto de los parches.
2. Clase: Las métricas corresponden a un tipo determinado de parches y sus propiedades agregadas muestran la configuración de los parches a través del paisaje.
3. Paisaje: Las métricas de todos los tipos o clases de parches que integran el paisaje y que caracterizan el patrón espacial (es decir, la composición o tipos de clases y su configuración o distribución espacial en el paisaje) de todo el mosaico del paisaje.

En este caso, utilizaremos solo métricas básicas de área y borde, contraste y agregación para los tres niveles, debido a que para los objetivos de estudio no requerimos métricas de forma, área núcleo o diversidad. Para elegir las métricas debes ir nivel por nivel de jerarquía, los cuales se encuentran separados en cuadros de colores en el programa, y después deberás seleccionar las pestañas que correspondan al tipo de métrica que te interese. Para más detalles de qué casillas fueron seleccionadas, consulta las imágenes del anexo I.

- ❖ **Métricas de área y borde:** Este grupo de métricas son empleadas para identificar el tamaño de los parches y el borde. Las métricas que vamos a utilizar están detalladas en el cuadro 1.

Cuadro 1. Métricas utilizadas para evaluar el área y borde de los elementos de nuestro paisaje. Se enlistan las métricas utilizadas para caracterizar la distribución de las clases de parches o tipos de coberturas y los elementos del paisaje de la Cuenca de México.

Métrica y abreviatura	Nivel de análisis	Descripción
Patch area (AREA)	Parche	El área de cada parche que compone el paisaje está expresada en hectáreas y su valor debe ser mayor a cero. El valor de esta métrica es la base de muchos de los índices de los tres niveles de jerarquía.
Patch perimeter (PERIM)	Parche	El perímetro es expresado en metros para cada parche, incluyendo los hoyos dentro del parche. Su valor debe ser mayor a cero. Es fundamental para el cálculo de muchas métricas de clase y paisaje. Es considerado como un borde.
Total area (CA/TA)	Clase	La suma de las áreas de todos los parches de un mismo tipo. Es expresada en hectáreas y con un valor mayor a cero. Muestra qué parte del paisaje está compuesto por un tipo particular de parche; conforme se aproxima a 0 quiere decir que ese tipo de paisaje es heterogéneo.
Percentage of landscape (PLAND)	Clase	Calcula la abundancia proporcional de cada tipo de parche sumando las áreas de todos los parches, dividiéndolos por el total del área del paisaje y multiplicando el resultado por 100.
Total area (CA/TA)	Paisaje	El área total del paisaje expresada en hectáreas. Es de importancia porque define la extensión del paisaje.
Largest patch index (LPI)	Paisaje	Cuantifica el porcentaje total del área del parche más grande con relación al total del área del paisaje. Se debe tener cuidado porque incluye cualquier fondo presente en el paisaje, así que el valor de las celdas de fondo debe estar expresado con el número -99.

- ❖ **Métricas de contraste:** El contraste hace referencia a la magnitud de diferencia entre los tipos de parche adyacentes con respecto a algún atributo a una escala que es relevante para algún organismo o fenómeno de estudio. En el cuadro 2 se detallan las métricas a utilizar.

Cuadro 2. Métricas utilizadas para conocer el contraste de los elementos de nuestro paisaje. Se enlistan las métricas utilizadas para el contraste de las clases de parches que conforman el paisaje de la Cuenca de México.

Métrica y abreviatura	Nivel de análisis	Descripción
Edge contrast index (ECON)	Parche	El índice de contraste de borde muestra el grado de contraste entre el perímetro de cada uno de los parches con su vecino inmediato. Es resultado de la suma del largo (m) del perímetro del parche multiplicado por sus valores de contraste, dividido por el perímetro total del parche (m) y multiplicado por 100 para convertir a porcentaje.
Total Edge contrast index (TECI)	Clase	Muestra en porcentaje el grado de contraste entre el perímetro de cada tipo de parche. Se obtiene de igual manera que el índice de contraste de borde, pero sumando el largo del borde (m) de todos los parches de un mismo tipo.
Total Edge contrast index (TECI)	Paisaje	Funciona de manera similar que la métrica a nivel de clase, pero a nivel de paisaje suma la distancia de todos los bordes del paisaje.

- ❖ **Métricas de agregación:** La agregación hace referencia a la tendencia de los tipos de parches de estar espacialmente agregados. Es un aspecto fundamental del paisaje debido a que el patrón de agregación del paisaje es importante para muchos procesos ecológicos, por ejemplo, la fragmentación y aislamiento. Las métricas que se seleccionarán están detalladas dentro del cuadro 3.

Cuadro 3. Métricas utilizadas para conocer la agregación de los elementos del paisaje. Se enlistan las métricas utilizadas para conocer la agregación de los elementos que conforman el paisaje de la Cuenca de México.

Métrica y abreviatura	Nivel de análisis	Descripción
Euclidean Nearest-Neighbor Distance (ENN)	Parche	La distancia euclidiana al vecino más cercano es la distancia (m) al parche vecino del mismo tipo más cercano, con base en la distancia de borde a borde más corta. Es útil para cuantificar el aislamiento de los parches.
Number of patches (NP)	Clase	A nivel de clase, esta métrica muestra el número de parches de cada tipo particular de parche.
Patch Cohesion Index (COHESION)	Clase	El índice de cohesión de parches mide la conectividad física de los tipos de parches correspondidos. Sus valores están entre 0 y 100. Si el valor se acerca a 0 significa que ese tipo de parche está poco conectado físicamente y aumenta conforme los parches de un determinado tipo se encuentran más agregados entre sí.
Number of patches (NP)	Paisaje	A nivel de paisaje, esta métrica muestra el número total de parches en el paisaje considerando todos los tipos de coberturas o clases de parches.

- **Archivos de salida de *Fragstats***

Una vez seleccionadas las métricas es hora de correr el análisis con el botón “Run” situado en la parte superior del programa. Al dar clic debe de aparecer una ventana donde se muestran las propiedades del análisis y cuántas métricas por nivel se están analizando. Si hay algún error en el diseño del modelo o si hace falta alguna tabla complementaria para el cálculo de métricas específicas, el programa no correrá el análisis y los errores podrán consultarse en la sección que se encuentra en la parte inferior de la ventana principal.

Una vez haya terminado el análisis podrá revisar los resultados seleccionando el botón de resultados (figura 15). Al mismo tiempo, dentro de la carpeta “Resultados” se habrán generado los archivos que contienen los mismos resultados. *FRAGSTATS*

puede generar cuatro tipos de archivos de salida dependiendo de los niveles que fueron seleccionados para el análisis (McGarigal, 2015):

1. "basename".patch file: Contiene las métricas del parche; el archivo contiene 1 registro (fila) para cada parche en el paisaje; las columnas representan las métricas de parche seleccionadas.
2. "basename".class file: el archivo contiene 1 registro (fila) para cada clase en el paisaje; las columnas representan las métricas de clase seleccionadas.
3. "basename".land file: el archivo contiene 1 registro (fila) para el paisaje; las columnas representan las métricas de paisaje seleccionadas.
4. "basename".adj file: Contiene la matriz de adyacencia de las clases para cada una de las combinaciones de las clases.

Patch	Class	Landscape	LID	PID	TYPE	AREA	PERIM	ENN	ECON
1	C:\Users\Diego\			1	CON	420.2500	13300.0000	552.2681	40.9774
2	C:\Users\Diego\			6	CON	27.5000	2100.0000	552.2681	25.0000
3	C:\Users\Diego\			12	CON	315.0000	11200.0000	550.0000	79.4643
4	C:\Users\Diego\			19	CON	75.0000	4000.0000	550.0000	62.5000
5	C:\Users\Diego\			31	CON	380.0000	16200.0000	550.0000	39.0432
6	C:\Users\Diego\			37	CON	27.5000	2100.0000	550.0000	48.8095
7	C:\Users\Diego\			39	CON	230.0000	10100.0000	550.0000	50.0000
8	C:\Users\Diego\			60	CON	522.7500	23500.0000	552.2681	84.2766
9	C:\Users\Diego\			62	CON	127.5000	6100.0000	552.2681	95.9016
10	C:\Users\Diego\			86	CON	230.0000	7100.0000	550.0000	100.0000
11	C:\Users\Diego\			89	CON	27.5000	2100.0000	550.0000	100.0000
12	C:\Users\Diego\			115	CON	1220.2500	33800.0000	552.2681	64.6450
13	C:\Users\Diego\			136	CON	180.0000	9200.0000	552.2681	55.4348
14	C:\Users\Diego\			140	CON	25.0000	2000.0000	550.0000	65.0000
15	C:\Users\Diego\			142	CON	25.0000	2000.0000	550.0000	65.0000
16	C:\Users\Diego\			151	CON	27.5000	2100.0000	552.2681	65.0000
17	C:\Users\Diego\			155	CON	255.0000	8100.0000	4481.3502	34.1358
18	C:\Users\Diego\			173	CON	600.2500	20400.0000	1600.7811	100.0000
19	C:\Users\Diego\			182	CON	6629.7500	104300.0000	1550.0000	92.7277
20	C:\Users\Diego\			183	CON	872.5000	29500.0000	550.0000	87.1186
21	C:\Users\Diego\			187	CON	25.0000	2000.0000	552.2681	50.0000
22	C:\Users\Diego\			192	CON	27.5000	2100.0000	552.2681	86.9048
23	C:\Users\Diego\			196	CON	337.7500	12400.0000	1691.8924	85.4839
24	C:\Users\Diego\			230	CON	132.5000	7200.0000	550.0000	100.0000
25	C:\Users\Diego\			233	CON	25.0000	2000.0000	1600.7811	100.0000

Figura 15. Sección de resultados en FRAGSTATS. En la figura se observa la sección de consulta de resultados del modelo.

En este caso, se espera obtener todos los tipos de archivos los cuales se podrán ver en la carpeta de resultados. Dichos archivos pueden ser vistos con más detalle en Excel, para esto sigue los siguientes pasos. Primero, dentro de Excel selecciona la opción “Abrir...”, busque la carpeta de “Resultados” y en la parte inferior cambie las opciones del buscador de archivos por “Todos los archivos”; ahora deben de

aparecer todos los archivos de salida; en esta ocasión abriremos el que corresponde al nivel de clase (.class) (figura 16).

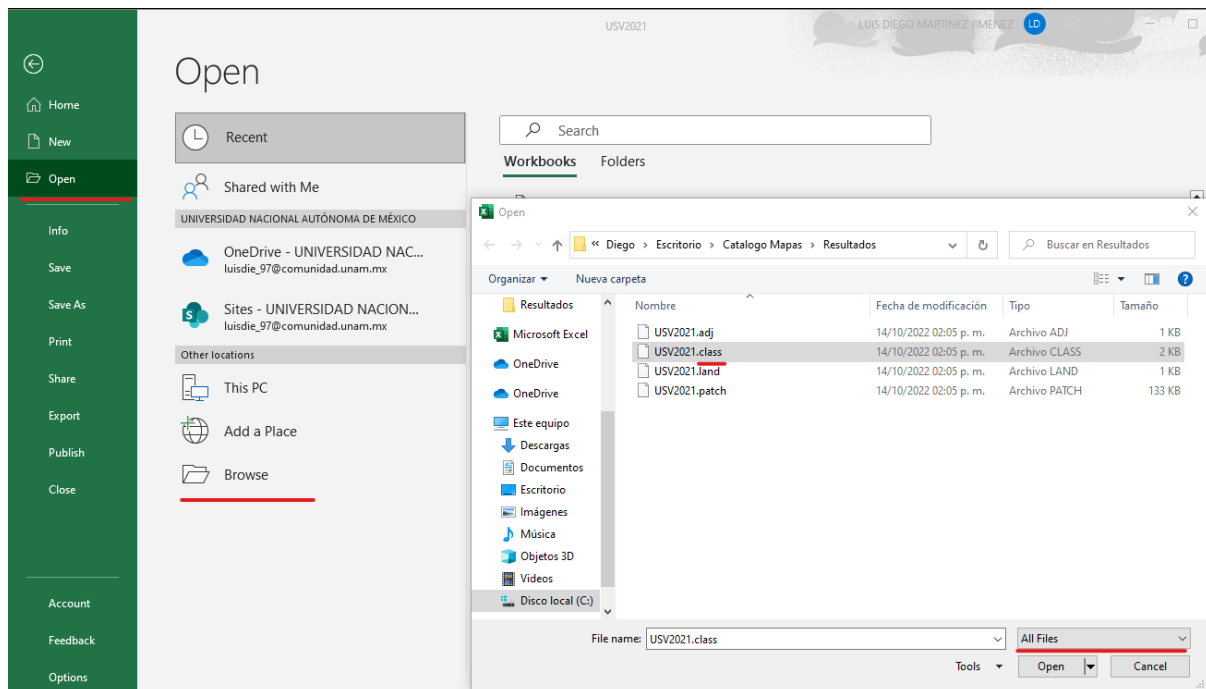


Figura 16. Búsqueda de nuestros archivos en Excel. En la figura se observa la ventana principal de Excel y los pasos que hay que seguir para abrir el archivo de salida de *FRAGSTATS*.

Debido al formato del archivo, se desplegará una ventana de diálogo que pedirá la manera en la cual Excel debe interpretar y separar los datos. En la primera ventana únicamente selecciona la opción “Delimitado” y pasa al siguiente paso donde quedará seleccionada únicamente la opción “Coma”. Inmediatamente notarás cómo la vista previa de los datos aparece ahora separada de manera adecuada (figura 17); de ser así continúa y en el último paso deja todo como está por defecto y luego da clic en finalizar. Este proceso es el mismo para cada uno de los archivos salientes de *FRAGSTATS*. Hecho esto, tendremos listos los datos para ser exportados, analizados o editados en cualquier otro programa.

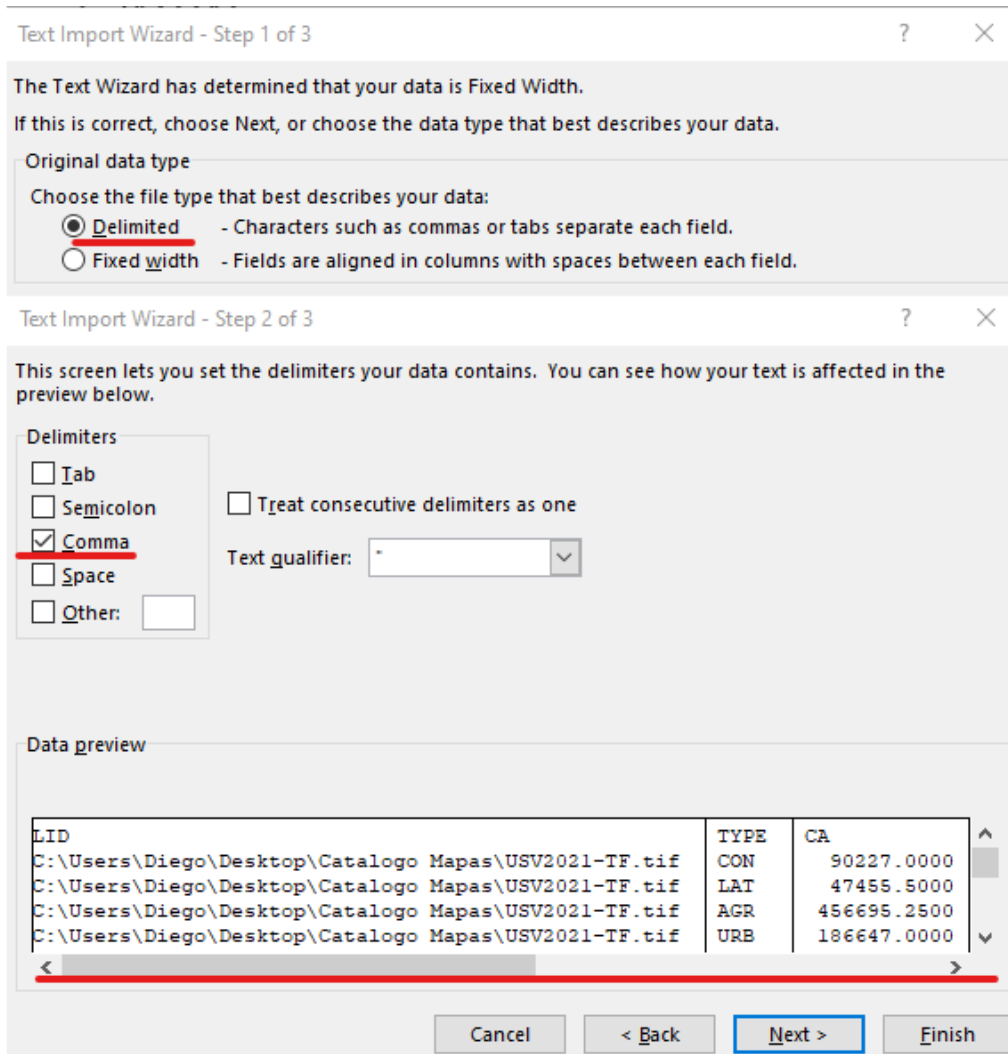


Figura 17. Abriendo de manera adecuada los archivos salientes. Se señala en rojo las casillas que se deben seleccionar y la vista previa correcta de los datos.

Referencias

Castilla, G. Larkin, K. Linke, J. Hay, G. (2009). Landscape Ecology *The impact of thematic resolution on the patch-mosaic model of landscapes* 24:15-23.

Clark, W. (2010). Principles of Landscape Ecology. *Nature Education Knowledge* 3(10):34.

Dunning, J. B., B. J. Danielson, and H. R. Pulliam. (1992). Ecological processes that affect populations in complex landscapes. *Oikos* 65:169-175.

San Vicente, M. G., & Valencia, P. J. L. (2008). Ecología del Paisaje. Un marco para el estudio integrado de la dinámica territorial y su incidencia en la vida silvestre. *Estudios geográficos*, 69(265), 519-543.

Cotler, H. (compiladora) (2004) El manejo integral de cuencas en México: estudios y reflexiones para orientar la política ambiental. Instituto Nacional de Ecología. pp. 11-17.

Kupfer, J. A. (2012). Landscape ecology and biogeography: rethinking landscape metrics in a post-Fragstats landscape. *Progress in physical geography* 36(3): 400-420.

MCGarigal, K. (1995). Fragstats: Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure. United States Department of Agriculture. pp. 22-52

McGarigal, K. (2015). Fragstats help. *University of Massachusetts: Amherst, MA, USA*, 182, pp. 4-15, 34-36, 105-107.

McGarigal K., SA Cushman, and E Ene. 2023. FRAGSTATS v4: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps. Software de computadora producido por los autores; disponible en: <https://www.fragstats.org>

Risser, P. (1987). Ecological Studies, *Landscape Ecology: State of the Art*. pp. 3-14.

Gálvez, J. J. O. (2012). Cartilla Técnica:¿Qué es Cuenca Hidrológica?. Sociedad geográfica de Lima. pp 6-9.

Wiens, J. A. (1976). Population responses to patchy environments. *Annual review of ecology and systematics*, 7(1), 81-120.

Wu, J. (2008). Landscape Ecology. *Encyclopedia of Ecology*, 2103-2108. doi:10.1016/b978-008045405-4.00864-8.

Anexo. Diseño del modelo en *FRAGSTATS*

En las siguientes figuras (A1 a A9) se muestran a detalle los pasos a seguir para el diseño del modelo en *FRAGSTATS*.

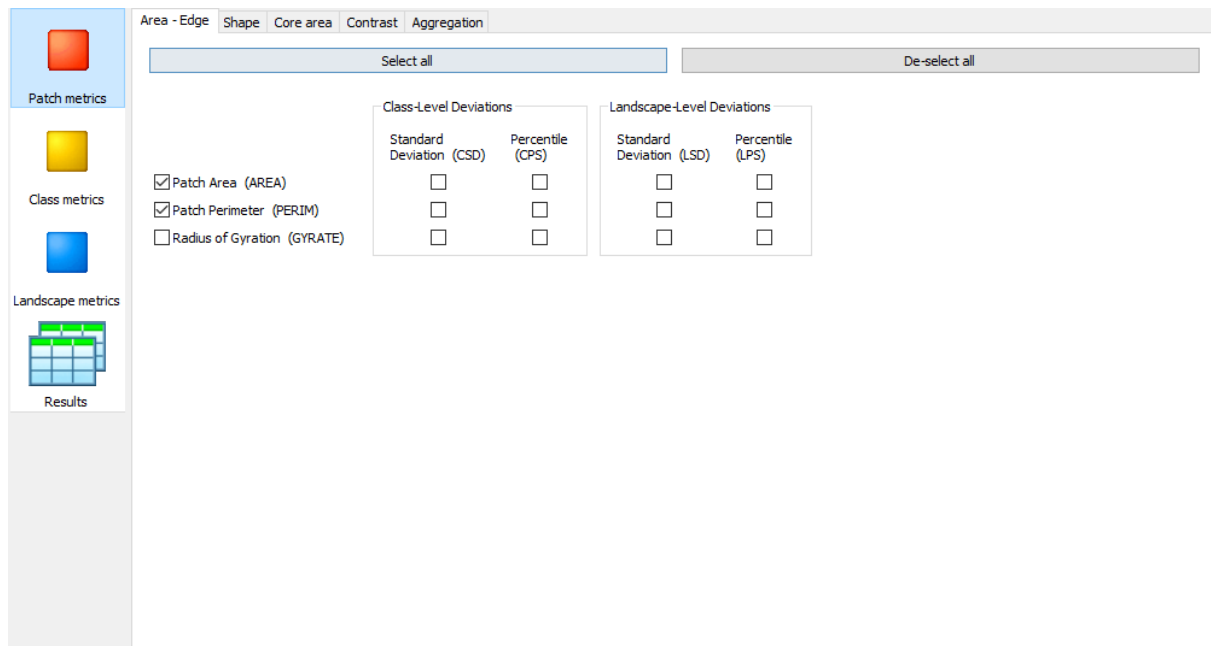


Figura A1. Métricas seleccionadas del nivel de parche, sección área y shape. En la figura se muestra la sección de la ventana de *FRAGSTATS* en donde es posible seleccionar las métricas a nivel de parche.

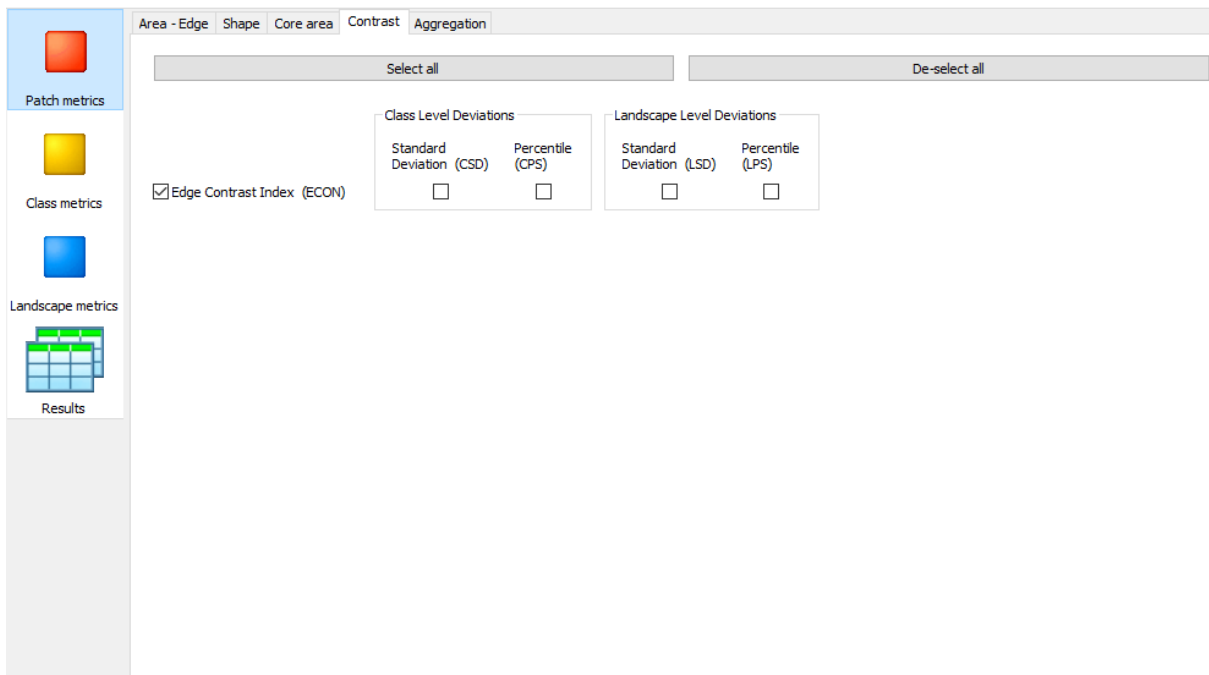


Figura A2. Métricas seleccionadas del nivel de parche, sección contraste. En la figura se muestra la sección de la ventana de *FRAGSTATS* en donde es posible seleccionar las métricas a nivel de parche en la sección de contraste.

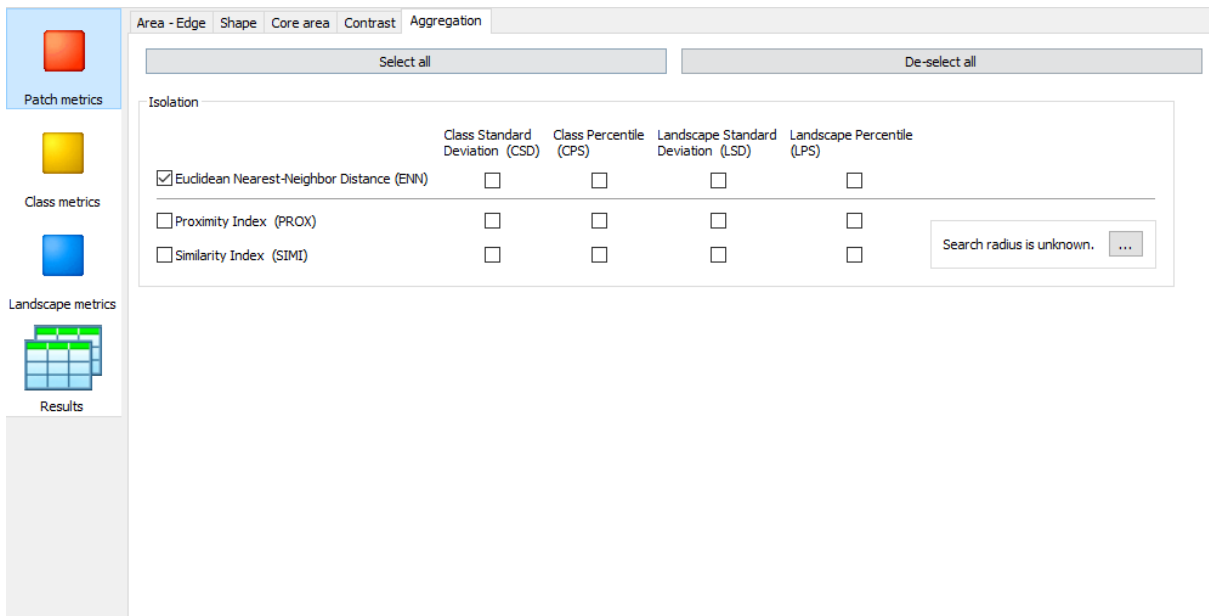


Figura A3. Métricas seleccionadas del nivel de parche, sección agregación. En la figura se muestra la sección de la ventana de *FRAGSTATS* en donde es posible seleccionar las métricas a nivel de parche, específicamente aquellas que caracterizan la agregación de los parches.

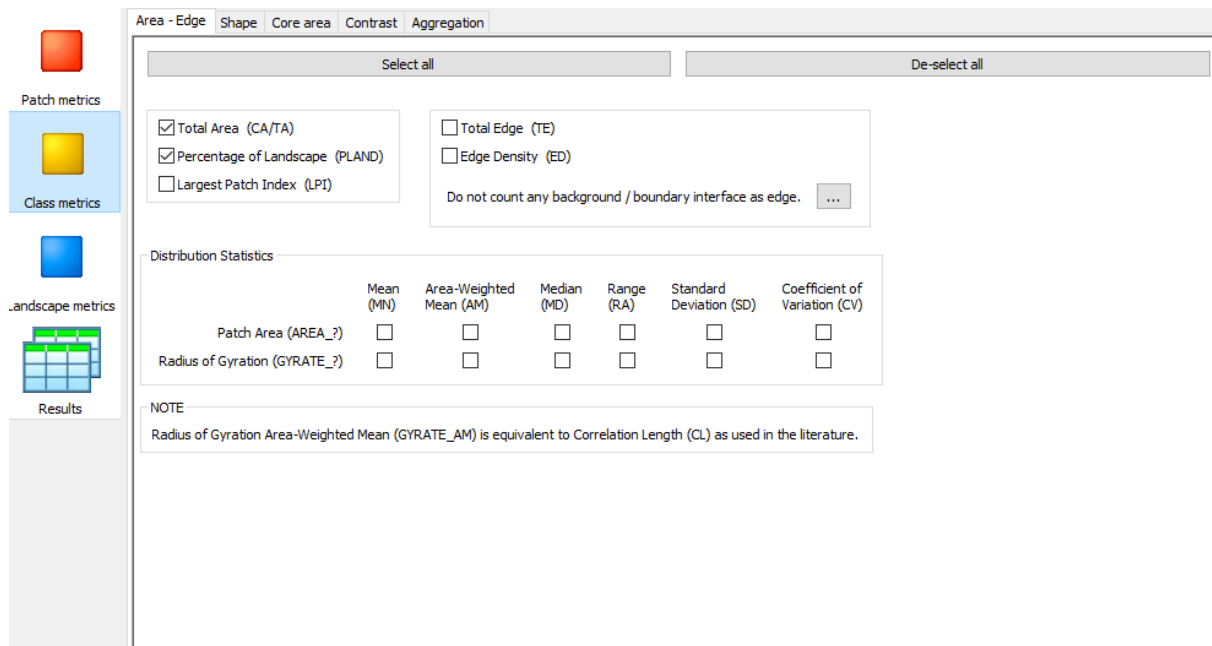


Figura A4. Métricas seleccionadas del nivel de clase, sección área y borde.

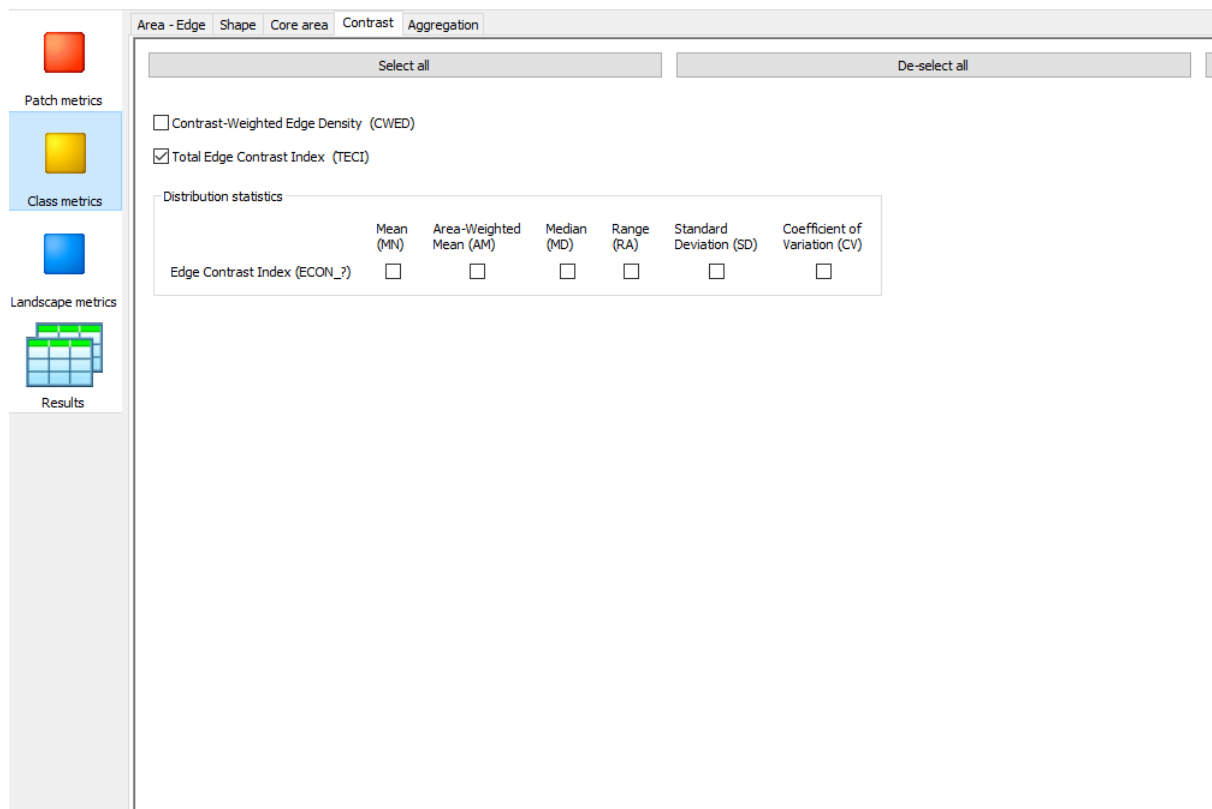


Figura A5. Métricas seleccionadas del nivel de clase, sección contraste.

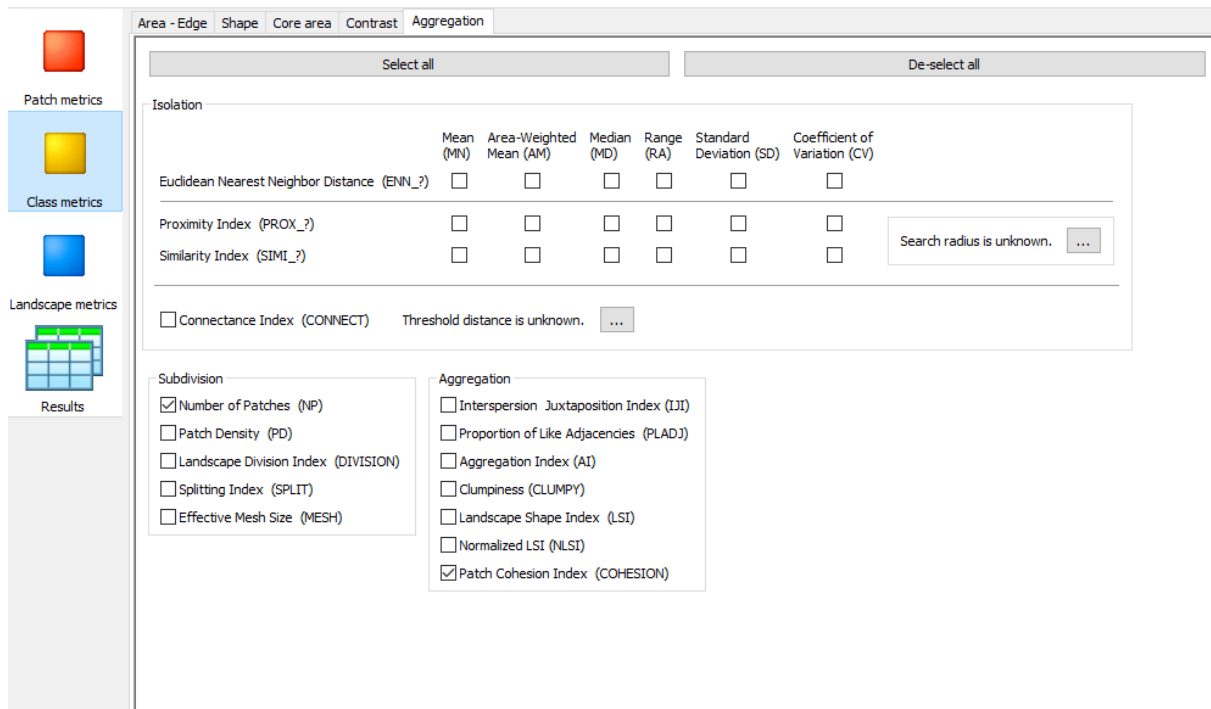


Figura A6. Métricas seleccionadas del nivel de clase, sección agregación.

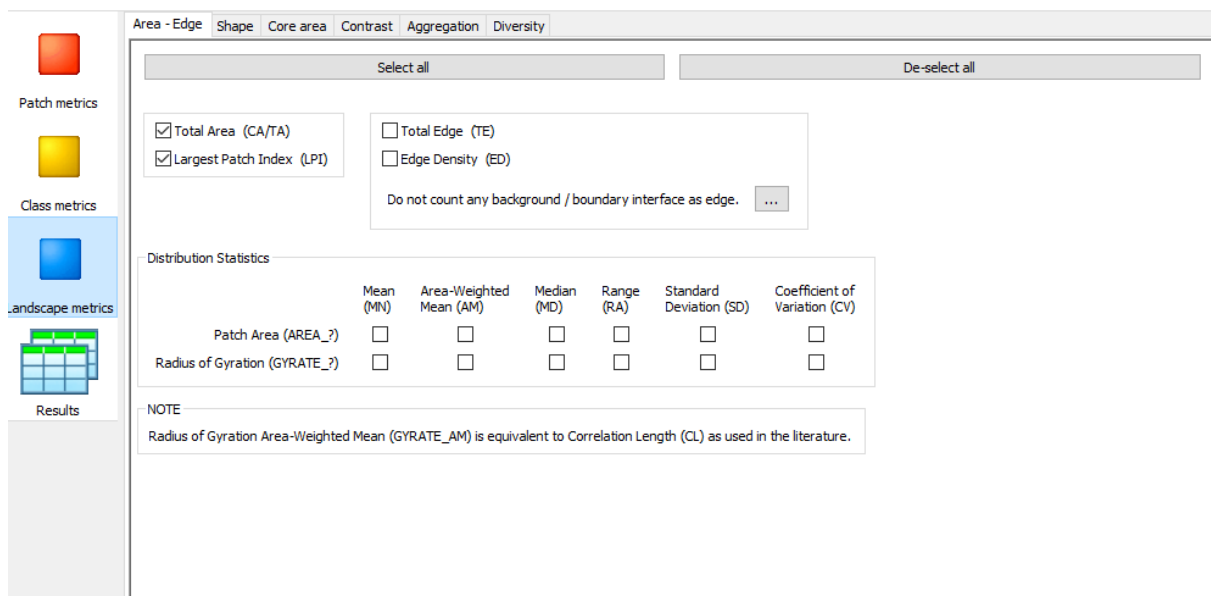


Figura A7. Métricas seleccionadas del nivel de paisaje, sección área y borde.

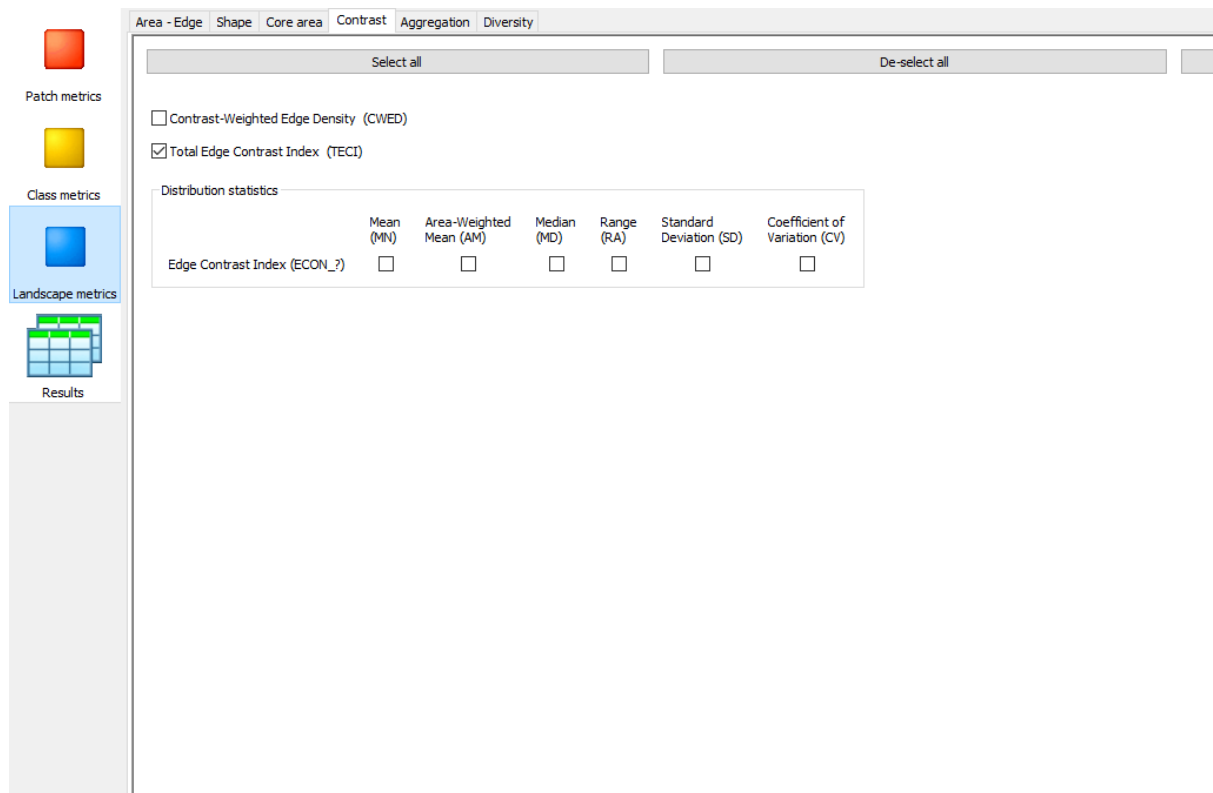


Figura A8. Métricas seleccionadas del nivel de paisaje, sección contraste.

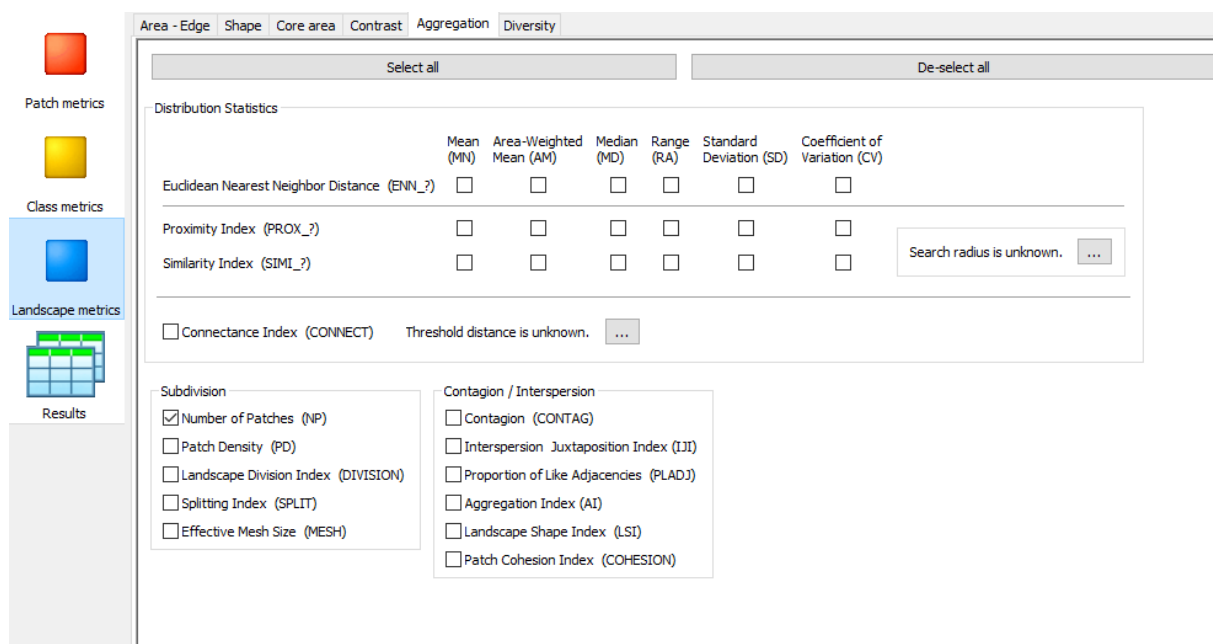


Figura A9. Métricas seleccionadas del nivel de paisaje, sección agregación.