

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
1.1. Hipótesis	3
1.2. Objetivos	3
1.2.1. Objetivo general	3
1.2.2. Objetivos específicos	3
1.3. Alcance	4
1.4. Importancia	4
1.5. Estructura de la tesis	5
2. Marco Teórico	6
2.1. Estructura Espacial Urbana	6
2.2. Caracterización de redes complejas	8
2.2.1. Grado	9
2.2.2. Promedio de rutas más cortas	9
2.2.3. Coeficiente de agrupamiento	10
2.2.4. Componentes conexas	11
2.2.5. Diámetro	11
2.2.6. <i>PageRank</i>	11
2.2.7. <i>Betweenness</i>	12
2.2.8. Estructura de comunidad: <i>Infomap</i>	13
2.3. Ciudades desde redes complejas	14
3. Datos	17
3.1. Datos de estudio: viajes	18
3.1.1. Análisis estadístico	19
3.2. Datos referenciales	22
3.2.1. Santiago de Chile	22
3.2.2. Sistema de transporte	23
3.2.3. Paraderos de Transantiago	26
3.2.4. Caracterización espacial de la ciudad	26
4. Implementación	32
4.1. Herramientas	32
4.2. Procesamiento de datos	33
4.2.1. Viajes	33
4.2.2. Paradas	33

4.2.3.	Geografía	34
4.2.4.	Filtros	35
4.2.5.	Normalización	36
4.3.	Construcción de la red de movilidad	37
4.4.	Cálculo de indicadores	39
4.4.1.	PageRank	39
4.4.2.	Betweenness	40
4.4.3.	Infomap	41
4.4.4.	Propiedades grafo	42
4.4.4.1.	Grado de nodo	42
4.4.4.2.	Intensidad (<i>Strength</i>)	43
4.4.4.3.	Promedio de rutas más cortas (<i>Shortest path length</i>)	43
4.4.4.4.	Coefficiente de agrupamiento (<i>Clustering coefficient</i>)	44
4.4.4.5.	Diámetro	44
4.4.4.6.	Componentes conexas	44
4.5.	Asociación espacial	45
4.5.1.	Interpolación espacial	45
4.5.2.	Asignación de comunidad a zonificación	46
4.6.	Visualización de <i>PageRank</i> y <i>Betweenness</i>	47
5.	Análisis	49
5.1.	Análisis de la red	50
5.1.1.	Propiedades generales	51
5.2.	Análisis espacial	54
5.2.1.	Centros	54
5.2.2.	Centros de pasada	58
5.2.3.	Comunidades	60
5.2.3.1.	Comunidades detectadas	61
5.2.3.2.	Asociación espacial con la zonificación 777	65
5.2.3.3.	Comparación con Singapur	66
5.2.3.4.	Estructuración de Transantiago el 2012	67
6.	Conclusiones y trabajo futuro	69
6.1.	Trabajo futuro	71
7.	Anexos	73
A.	Descripción tabla de viajes	73
B.	Descripción tabla de paradas y estaciones de metro	76
C.	Conversión de archivo CSV a PAJEK	77
D.	Generación de CSV de viajes	78
	Bibliografía	80

Índice de Tablas

3.1. Datos utilizados. Fuente: elaboración propia	17
3.2. Cantidad de viajes según su cantidad de etapas. Fuente: elaboración propia .	20
3.3. Antecedentes demográficos por sector separado por IFM (Ingreso Familiar Mensual). Fuente: EOD-2012	22
3.4. Distribución de los viajes según modo de transporte y propósito en día laboral temporada normal. Fuente: eod-2012	24
3.5. Caracterización de las líneas de metro. Fuente: www.metro.cl	25
3.6. Comunas de la región metropolitana agrupadas por sector y provincia. Fuente: EOD-2012	30
4.1. Columnas utilizadas de la tabla de viajes. Fuente: elaboración propia	34
4.2. Columnas utilizadas de la tabla de redparadas. Fuente: elaboración propia .	34
4.3. Columnas utilizadas de la tabla de estaciones_metro. Fuente: elaboración propia	35
4.4. Atributos de archivo <i>shape</i> con la zonificación 777. Fuente: elaboración propia	35
4.5. Viajes iniciales y viajes eliminados en el filtro. Fuente: elaboración propia . .	36
4.6. Parámetros para generar visualización de <i>PageRank</i> y <i>Betweenness</i> . Fuente: elaboración propia	47
5.1. Grafos construidos y las métricas a aplicar sobre cada uno. Fuente: elaboración propia	51
5.2. Propiedades globales. Fuente: elaboración propia	51
5.3. Comunidades generadas con la cantidad de nodos asignada por <i>Infomap</i> . . .	62
7.1. Columnas presentes en la tabla viajes	73
7.2. Columnas presentes en la tabla estaciones_metro	76
7.3. Columnas presentes en la tabla redparadas	77

Índice de Ilustraciones

2.1.	Ejemplo de coeficiente de agrupamiento. Fuente: wikipedia.org	10
2.2.	<i>PageRank</i> en una red sin pesos. Fuente: Wikipedia.org	12
2.3.	Ilustración del método ICDR. Fuente: Louail et al. (2015)	16
3.1.	Cantidad de viajes por día. Fuente: elaboración propia	20
3.2.	Cantidad de viajes por hora. Fuente: elaboración propia	21
3.3.	Cantidad de viajes por comuna. Fuente: elaboración propia	21
3.4.	líneas de metro. Fuente: elaboración propia	25
3.5.	Estaciones de metro agrupadas por comuna de ubicación. Fuente: elaboración propia	26
3.6.	Ubicación de paraderos de Transantiago. Fuente: elaboración propia	27
3.7.	Cantidad de paraderos por comuna de Santiago. Fuente: elaboración propia .	28
3.8.	Sectores (borde rojo) y comunas (borde negro) de la ciudad de Santiago. Fuente: EOD-2012	29
3.9.	zonificación de Santiago, conocida como zonificación 777. Fuente: EOD-2012	31
4.1.	Proceso de construcción de indicadores. Fuente: elaboración propia	32
4.2.	Proceso de filtrado y normalización de datos. Fuente: elaboración propia . .	37
4.3.	Red descrita usando el formato Pajek. Fuente: elaboración propia	38
4.4.	Proceso de transformación desde la base de datos a formato pajek. Fuente: elaboración propia	39
4.5.	Ejemplo de formato de archivo con extensión .tree. Fuente: elaboración propia	42
4.6.	Ventana de configuración para la interpolación en QGIS. Fuente: elaboración propia	46
4.7.	Configuración de la capa que contiene el resultado de la interpolación. Fuente: elaboración propia	48
5.1.	Fuentes de datos para el análisis. Fuente: elaboración propia	49
5.2.	Distribución de probabilidad acumulada para grafos de etapas. Fuente: elaboración propia	53
5.3.	Distribución de probabilidad acumulada para grafos de viaje. Fuente: elaboración propia	54
5.4.	Grado vs strength en 2 variantes: entrada y salida sobre los grafos de mañana y tarde de viajes y etapas. Fuente: elaboración propia	55
5.5.	Identificación de centros (zonas de color rojo). Corresponde al <i>PageRank</i> interpolado. Fuente: elaboración propia	55

5.6.	Distribución de <i>PageRank</i> en tres ventanas temporales: día, mañana y tarde. Fuente: elaboración propia	56
5.7.	Visualización de los grados de entrada de un nodo. Fuente: elaboración propia	57
5.8.	Visualización del flujo de entrada de un nodo. Fuente: elaboración propia . .	57
5.9.	<i>Betweenness</i> con grafos de viaje en tres ventanas temporales: día, mañana y tarde. Fuente: elaboración propia	58
5.10.	Distribución de probabilidad acumulada de <i>Betweenness</i> con grafos de viaje en tres ventanas temporales: día, mañana y tarde. Fuente: elaboración propia	59
5.11.	<i>Betweenness</i> usando datos de transbordo. Fuente: elaboración propia	59
5.12.	Distribución de probabilidad acumulada de <i>Betweenness</i> con grafos de etapa en tres ventanas temporales: día, mañana y tarde. Fuente: elaboración propia	60
5.13.	<i>Real Betweenness</i> (usando datos de transbordo). Fuente: elaboración propia .	61
5.14.	Comunidad de Metro. (a) distribución espacial (b) distribución espacial con la proyección de las líneas de metro . Fuente: elaboración propia	63
5.15.	Comunidades 12,13 y 14. Fuente: elaboración propia	63
5.16.	Comunidades más significativas con los macro sectores de la ciudad (líneas negras). Fuente: elaboración propia	64
5.17.	Asignación de comunidades a zonificación 777 usando las 41 comunidades encontradas con <i>Infomap</i> . Fuente: elaboración propia	65
5.18.	Asignación de comunidades a zonificación 777 usando las 10 comunidades que dan forma a la ciudad. Fuente: elaboración propia	66
5.19.	Comunidades presentes en Singapur con datos del 2012. Fuente: Zhong et al. (2014)	66
5.20.	División operacional de Transantiago en el año 2012. Fuente: elaboración propia	67
5.21.	Comunidades más significativas contrastadas con la zonificación de Transantiago del año 2012. Fuente: elaboración propia	68
7.1.	Algoritmo para transformar archivo con formato CSV a formato PAJEK. Fuente: elaboración propia	78
7.2.	código que genera archivo CSV intermedio para la construcción del grafo en formato Pajek usando los datos de viaje. Fuente: elaboración propia	79