

CONECTIVIDAD Y ACCESIBILIDAD EN EL DEPARTAMENTO
DE LIMA:
UNA APLICACION DE LA TEORIA DE LOS GRAFOS*

Lia Athalia Pérez H.**

* Deseo agradecer los comentarios y consejos de mis revisores, la constante asesoría de la Geógrafa Katarsyna de Dunin-Borkowski y la cooperación generosa del arquitecto Carlos Williams cuyas críticas constructivas han permitido la elaboración y la culminación de este documento, basado en el informe realizado por W. García A., L. Pérez H. y L. Sánchez H. para el curso: Seminario de Desarrollo de Areas. Ciclo 89 - I, 1989. Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Artes. Universidad Nacional de Ingeniería.

** Lia A. Pérez, Bachiller en Arquitectura. FAUA. Universidad Nacional de Ingeniería. Av. Túpac Amaru s/n. Telef. 811070 Anexo 221, Lima - Perú.

RESUMEN

El trabajo muestra una de las aplicaciones de la Teoría de los Grafos: las comunicaciones terrestres; sin embargo su campo de aplicación es amplia: en la física, química, geografía, economía, planeamiento, etc. El objetivo principal de la teoría es describir gráficamente un sistema o fenómeno cualquiera. La investigación busca identificar a la “capital de la región Lima” por medio de su conectividad y accesibilidad con respecto a las ciudades capitales de las provincias del Dpto. de Lima. Con el fin de tener un espectro más general del sistema estudiado, se hizo una comparación del sistema para los años 1946, 1987 y se simuló un caso hipotético. Finalmente, se identificó a la ciudad de Huaral como la “capital de la región” y su alternativa como sede de actividades comunes a las demás capitales provinciales incluyendo Lima. Así, Huaral podría convertirse en un centro dinámico que genere un desarrollo regional.

INTRODUCCION

Si el departamento de Lima fuera una región, ¿cuál de sus capitales provinciales sería la capital de la región? Esta sería la que estuviera bien conectada con las demás capitales provinciales y tendría la mejor accesibilidad.

Es el objetivo del presente trabajo mostrar la aplicación de la Teoría de los Grafos en el análisis territorial de una región, que con la ayuda de estadística puede dar solución a nuestra pregunta planteada. La investigación busca insertar las técnicas cuantitativas estudiadas y desarrolladas por la geografía, en pro de un acercamiento multidisciplinario de conocimientos hacia el estudio de la planificación del desarrollo regional.

El área de trabajo es el departamento de Lima con sus capitales de provincia y es el fin del documento dar a conocer una de las aplicaciones de la teoría para hallar la conectividad y accesibilidad existente entre los modos y, en nuestra área lo haremos por medio del sistema de carreteras del departamento. Así, analiza-

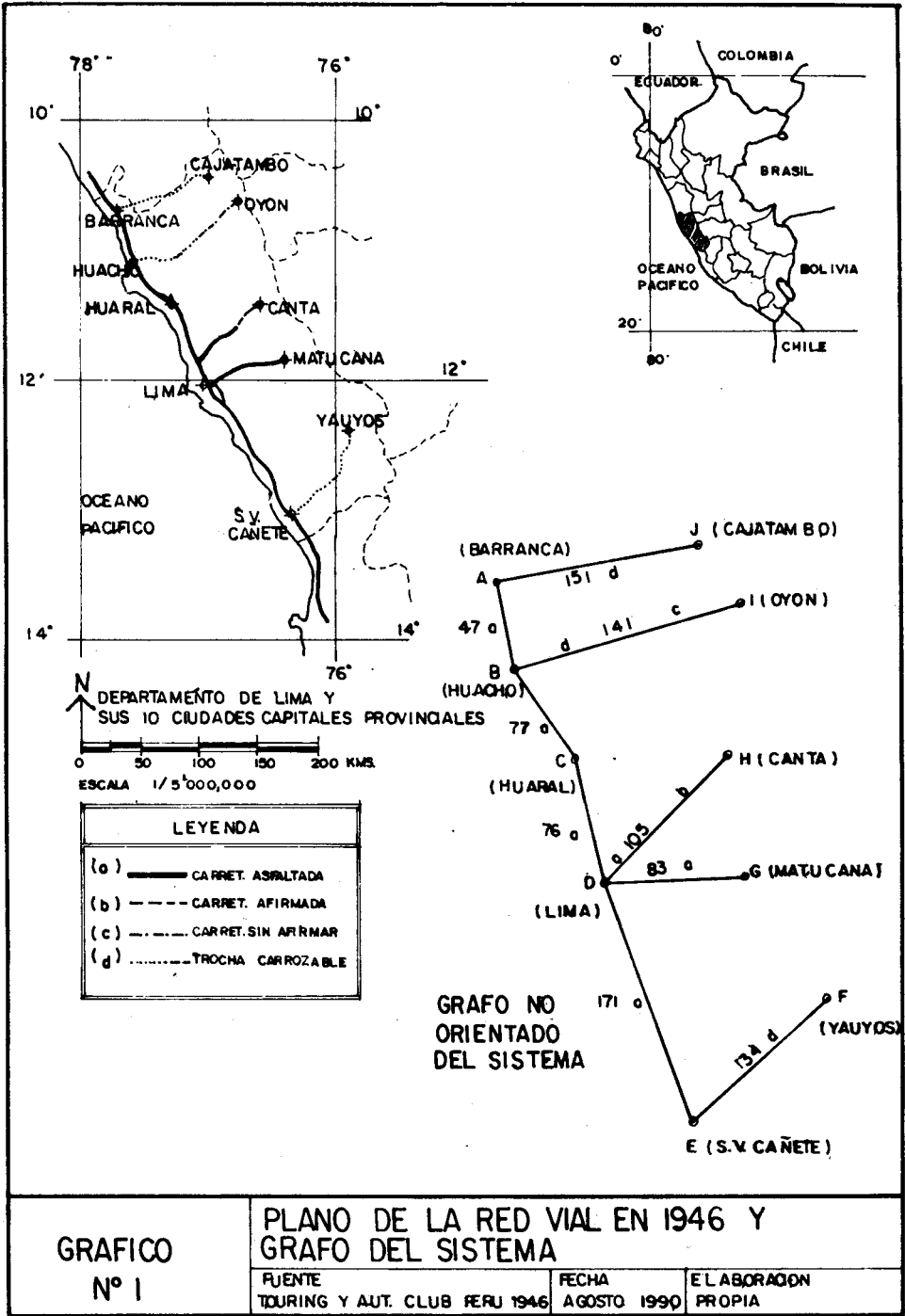


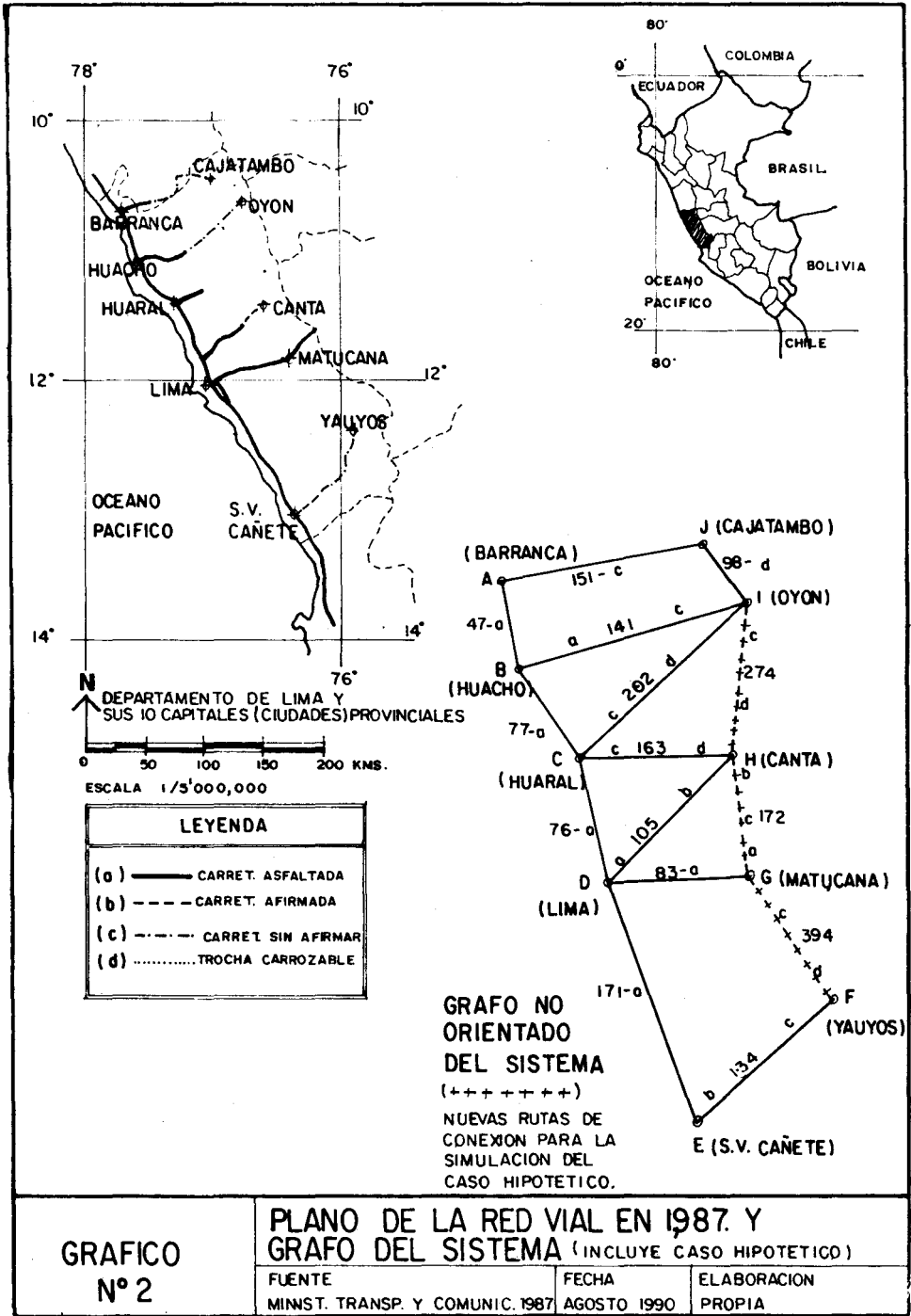
GRAFICO
Nº 1

PLANO DE LA RED VIAL EN 1946 Y
GRAFO DEL SISTEMA

FUENTE
TOURING Y AUT. CLUB PERU 1946

FECHA
AGOSTO 1990

ELABORACION
PROPIA



remos las características globales del sistema: tipos de vías, tiempo de trayecto, distancia viaria, territorio, etc. factores que son ponderados y evaluados en la metodología aplicada. El trabajo se presenta en dos capítulos: el marco teórico y la aplicación práctica. La aplicación consta de dos partes. En la primera se hace la representación gráfica y numérica, es decir, la estructura del grafo y su tabla de valores.

En la segunda parte se muestra las matrices de evaluación que es el análisis propiamente dicho, cuyos resultados numéricos son interpretados para evaluar el grado de conectividad y accesibilidad entre las ciudades capitales. La elaboración de las matrices de evaluación son mostradas en el primer caso, 1946, mientras que en las otras solo se dan sus resultados finales.

Finalmente, de estas observaciones, realizaré las conclusiones y en función a los objetivos de la investigación realizada.

MARCO TEORICO

Mencionaremos brevemente la teoría de los grafos y algunas medidas de distribución estadística que utilizaremos en el estudio.

TEORIA DE LOS GRAFOS

Se basa en una de las ramas de las matemáticas, y tiene como objetivo representar o describir gráficamente una relación cuantitativa propia de un fenómeno cualquiera. Grafo significa un conjunto de puntos unidos entre sí por arcos orientados.

Su campo de aplicación es muy amplio: en la física, las comunicaciones, economía, etc. por ejemplo:

- En comunicaciones terrestres, la circulación urbana o de carreteras se presenta en forma de redes orientadas donde existen flujos vehiculares. Estas redes son grafos lo mismo que las vías férreas, aéreas, etc. estructuras que pueden ser analizadas en base de la teoría de los grafos.

A continuación se describirán algunos tipos de grafos:

- Grafo simétrico.- si todo par (X, Y) va acompañado de la existencia de un par de (Y, X) se le denomina simétrico, y si todo lo contrario un par (X, Y) , prohíbe un par (Y, X) estaremos hablando de un grafo antisimétrico.
- Grafo sin circuitos.- todo grafo que no contenga circuito alguno será catalogado así.

- Grafo no orientado.- constituido por caminos (rectas) que representan solo los enlaces entre los nudos.

A su vez la teoría utiliza métodos para analizar estas redes algunas de ellas están incluidas en las medidas estadísticas.

MEDIDAS DE DISTRIBUCION ESPACIAL

Se refieren a las medidas estadísticas o matemáticas que sirven para evaluar los datos espaciales. Nos referimos a las medidas de distribución lineal específicamente, debido a que la red de transporte es un conjunto de líneas rectas o de curvas, veremos entonces la accesibilidad de los nodos individuales y las características globales del sistema de carreteras.

El método para medir la accesibilidad de un nodo se basa en la construcción de una matriz de accesibilidad (Matriz simétrica), en donde los nodos se ubicarán en la primera fila y en la primera columna de la matriz. Las cifras internas representan las características de la red. Finalmente la matriz mostrará un rango clasificatorio cuyo orden determinará la accesibilidad del nodo en los términos especificados.

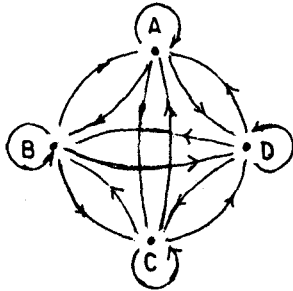
Las medidas para conocer las características globales de una red de rutas son: el índice de rodeo, que mide el rodeo de la ruta mas corta que une dos puntos: $I.R. = (\text{Dist. viaria mas corta} / \text{Dist. en línea recta}) \times 100$, cuanto > sea $I.R.$ > será la sinuosidad viaria.

La densidad de tráfico (B):

$B = e/n$; $e = \#$ de ramas de la red y $n = \#$ de nodos de la red, y por último el índice de conectividad dado por:

$C = e / (1/2 \times n(n-1))$, que expresa el # de ramas de una red como la ratio del # máximo posible de ramas.

En cuanto al uso de la teoría, el primero en usarla en el análisis de las redes ferroviarias fue Kanskey, K.J. (*Structure of transport networks: relationships between network geometry and regional characteristics*, 1963) quien al evaluar los índices de conectividad de países desarrollados y subdesarrollados concluyó que la geometría de las redes puede estar vinculado al desarrollo de los recursos de la región. Garrison, W.L. (*Connectivity of the interstate highway system*, 1960) al analizar la accesibilidad relativa de 45 lugares según su posición topológica, notó contrastes notorios con respecto a Atlanta y St. Petersburg. Hoover, E.M. (*The location of economic activity*, 1948) demostró que la relación entre la fuente y el destino, en la localización industrial, puede ser afectado por el trazado de las rutas. Posteriormente, se han realizado algunos trabajos de investigación locales pocos difundidas.

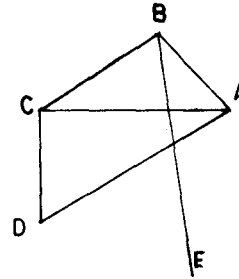
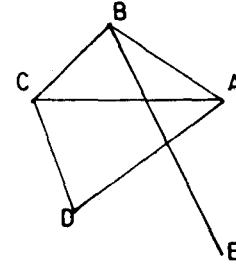


GRAFO SIMETRICO



	A	B	C	D
A				
B				
C				
D				

MATRIZ DEL GRAFO

GRAFO NO
ORIENTADO

GRAFO SIN CIRCUITO

APLICACION PRACTICA

A) ESTRUCTURA DEL GRAFO Y SU TABLA DE VALORES:

Los gráficos No. 1 y 2 indican la representación del sistema en sus años respectivos. El tipo de vía y número de habitantes están dadas por las tablas sgtes:

TABLA N° 1: Vías

Tipo	Vías	Ponderación
a)	Carretera asfaltada	10
b)	Carretera afirmada	13
c)	Carretera sin afirmar	15
d)	Trocha Carrozable	18

Fuentes: Ministerio de Transporte y Comunicación 1987. Censos 1961 y 1981. Elaboración propia

TABLA N° 2: Población

Ciudad Capital	Ponderación	
	1961	1981
A. Barranca	6	17
B. Huacho	11	22
C. Huaral	9	23
D. Lima	136	185
E. SV. Cañete	6	12
F. Yauyos	1	1
G. Matucana	2	3
H. Canta	2	2
I. Oyón	3	4
J. Cajatambo	2	3

B) MATRICES DE EVALUACION EL SISTEMA EN 1946:

M.1.) MATRIZ DE TRANSBORDO

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	Accesib.	
											Total	Rango
A	-	0	1	2	3	4	3	3	1	0	17	4
B	0	-	0	1	2	3	2	2	0	1	11	2
C	1	0	-	0	1	2	1	1	1	2	9	2
D	2	1	0	-	0	1	0	0	2	3	9	1
E	3	2	1	0	-	0	1	1	3	4	15	3
F	4	3	2	1	0	-	2	2	4	5	23	6
G	3	2	1	0	1	2	-	1	3	4	17	4
H	3	2	1	0	1	2	1	-	3	4	17	4
I	1	0	1	2	3	4	3	3	-	2	19	5
J	0	1	2	3	4	5	4	4	2	-	25	7

M.2.) MATRIZ DE DISTANCIA VIARIA

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	Accesib.	
											Total	Rango
A	0	47	124	200	371	505	283	305	188	151	2174	4
B	47	0	77	153	324	458	236	258	141	198	1892	3
C	124	77	0	76	247	381	159	181	218	275	1738	2
D	200	153	76	0	171	305	83	105	249	351	1693	1
E	371	324	247	171	0	134	254	276	465	522	2764	7
F	505	458	381	305	134	0	388	410	599	656	3836	10
G	283	236	159	83	254	388	0	188	377	434	2402	5
H	305	258	181	105	276	410	188	0	399	456	2578	6
I	188	141	218	249	465	599	377	399	0	399	3035	8
J	151	198	275	351	522	656	434	456	399	0	3442	9

Comentario: Lima (D) es el nodo de mayor accesibilidad en ambas matrices, en la primera por que utiliza el menor número de trasbordos y en la segunda con la menor distancia acumulable para conectarse con los demás nodos, contrario a esto se hallan Cajatambo (J) y Yauyos (F) ambas son nodos de menor accesibilidad.

M.3.) MATRIZ DE DISTANCIA VIARIA SEGUN TIPO DE VIA

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	Accesib.	
											Total	Rango
A	0	470	1240	2000	3710	6122	2830	3208	2726	2718	25024	4
B	470	0	770	1530	3240	5652	2360	2738	2256	3188	22204	3
C	1240	770	0	760	2470	2882	1590	1968	3026	3858	18664	1
D	2000	1530	760	0	1710	4122	830	1208	3786	4718	20664	2
E	3710	3240	2470	1710	0	2412	2540	2918	5496	6428	30924	7
F	6122	5652	2882	4122	2412	0	4952	5330	7908	8840	48220	10
G	2830	2360	1590	830	2540	4952	0	2038	4616	5548	27304	5
H	3208	2738	1968	1208	2918	5330	2038	0	4994	5926	30328	6
I	2726	2256	3026	3786	5496	7908	4616	4994	0	544	35352	8
J	2718	3188	3958	4718	6428	8840	5548	5924	5444	0	46766	9

M.4.) MATRIZ DE DISTANCIA SEGUN POBLACION

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	Accesib.	
											Total	Rango
A	0	517	1116	27200	2226	505	566	610	564	302	33606	6
B	282	0	693	20808	1944	458	472	516	423	396	25992	5
C	744	847	0	10336	1482	381	318	362	654	550	15674	2
D	1200	1683	684	0	1026	305	166	210	882	702	6858	1
E	2226	3564	2223	23256	0	134	508	552	1395	1044	34902	7
F	3030	5038	3429	41480	804	0	776	820	1797	1312	58486	9
G	1698	2596	1431	11288	1524	388	0	376	1113	868	21300	3
H	1830	2838	1629	14280	1656	410	376	0	1197	912	25128	4
I	1128	1551	1962	39984	2790	599	1770	798	0	678	52160	8
J	906	2178	2475	47736	3132	656	868	912	1017	0	59880	10

Comentario: En la primera matriz, Huaral (C) es el nodo de mayor accesibilidad según el tipo de vías con que se conecta con las demás. Lima (D), como nodo de mayor acceso ejerce gran influencia debido al mayor número de población que tiene en comparación a las otras. Tanto Yauyos (F) como Cajatambo (J) son nodos de menor accesibilidad, la última correspondiente al menor número de población.

COMENTARIO PARCIAL

Notaremos que los cuadros atribuyen a Lima como el nodo de mayor accesibilidad, esto es por los caminos existentes a ella mientras que Huaral (C) no lo es, a pesar que es la mejor ubicación en relación al tipo de vía con que se conecta.

EL SISTEMA EN 1987 Y BAJO EL CASO HIPOTETICO

El caso hipotético constituye la simulación en el sistema con iguales características de vías en 1987, la diferencia está en la nueva conexión de rutas antes no existentes (ver gráfico No. 2). Con el procedimiento anterior, tenemos la siguiente tabla de resumen según cada tipo de matriz. En el aparecen los nodos de mayor y menor accesibilidad.

		Matrices			
		M.1	M.2	M.3	M.4
1987	May. acc.	HUARAL	HUARAL	Huaral	Huaral
	Men. acc.	Yauyos	Yauyos	Yauyos	Yauyos
Caso Hipot.	may. acc.	HUARAL/CANTA	HUARAL	LIMA	LIMA
	Men. acc.	Yauy/Barranc.	Yauyos	Yauyos	Yauyos

COMENTARIO PARCIAL

En 1987: Huaral (C) es el nodo de mayor accesibilidad, tanto por el número mínimo de trasbordos necesarios como con respecto a la distancia viaria acumulable a las demás. Al evaluar con el tipo de vía y número de población, que favorece a Lima, esta llega a estar en casi igual grado de acceso con respecto a Huaral. Yauyos para todos los casos es el nodo de menor accesibilidad.

En el caso hipotético: La red está mejor conectada que en los casos anteriores, creo por lo tanto que Huaral es la ciudad de mayor accesibilidad. A pesar que el tipo de vía y población en las matrices determinan el mejor acceso para Lima. Huaral tiene las ventajas óptimas debido a los transbordos realizables y a

la distancia viaria, ya que finalmente puede ser mejorada en el futuro. Con nueva conexión en la red de Yauyos y Barranca son los nodos de menor acceso.

CONECTIVIDAD

La conectividad para los tres casos resultó ser la siguiente:

Año	C	β	
1946	0.20	0.9	(grafo no conexo)
1987	0.27	1.2	(red compleja)
C.H	0.33	1.5	(red compleja)

La conectividad en el primer caso ($C=0.20=1/5$) está a 1/5 del total y a través de los años se ha incrementado de 0.20 a 0.33, debido al incremento de vías en la red. Este valor va a incrementarse con el tiempo. Los valores indican la complejidad de la red.

CONCLUSIONES

Lima, la ciudad capital del departamento, ejerce una fuerza de atracción sobre las demás provincias, prueba de esto es el crecimiento poblacional. Pero, es la ciudad de Lima la mejor conectada y accesible con las demás capitales provinciales.

El resultado de la aplicación de la teoría de los grafos y la ayuda estadística nos demostró que Huaral es la ciudad provincial mejor conectada y mas accesible que las otras ciudades provinciales. Aunque también se vio que Lima, que era la ciudad con mayor accesibilidad en 1946, ocupa ese lugar preferencial debido al estado de vías y su población, mayor en número. Sin embargo, la secuencia en el tiempo demuestra que Huaral constituye una alternativa frente al problema de congestión y centralidad de la capital del departamento, sería una opción de localización de algunas actividades de mayor magnitud en términos generales, comunes y requeribles hacia las demás ciudades provinciales y cuya realización pudiera presentarse como un centro de desarrollo regional.

Quiero a la vez describir la base de una propuesta de mejor conexión a nivel de la zona quechua (2500-3500 msnm). Antes del siglo XVI, la comunicación natural en el Perú Antiguo, tenía por eje a la sierra peruana (zona quechua y yunga) con caminos transversales que comunicaban las áreas andinas, esta red permitía el buen manejo de los recursos agrícolas y ganaderas sobre el territorio. Con el triunfo de la tecnología moderna aparece la carretera panamericana alterando la función de la sierra, modificando su economía y alterando la función de la sierra, modificando su economía y debilitando su estructura social, trayendo como

consecuencia un nuevo eje de actividades serranas hacia la costa y su descuido en la conexión y vitalidad entre ellas mismas.

Aunque el territorio se divide en 2 franjas paralelas es notorio que la accesibilidad está determinada por su topografía. No se propone repetir o copiar esta antigua red, sino mas bien mejorarla o adecuarla a la situación actual, sabiendo que el crecimiento de las carreteras está enlazado con el proceso de crecimiento económico y del desarrollo regional.

Con las investigaciones referidas al análisis territorial, como la teoría de grafos y a la estadística, podremos llegar a relacionarlos con el medio rural, experimentar y transformarla de acuerdo a las necesidades y capacidades. Entonces en nuestra pregunta inicial, Huaral correspondería ser la "capital de la región", bajo los términos analizados.

BIBLIOGRAFIA

- GARCIA, Walter; PEREZ, Lía y SANCHEZ, Leonardo:
1989 *Teoría de los grafos: Una aplicación en el sistema de transporte terrestre del Departamento de Lima.* Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Artes. UNI.
- HAGGET, Peter:
1976 *Análisis locacional en la Geografía Humana.* Barcelona, Edit. Gustavo Gili.
- HAMMOND, Robert y Patrick MC CULLAGH:
1974 *Técnicas cuantitativas en geografía.* Madrid, Edit. Saltés.
- KAUFMANN, Arnold:
1976 *Teoría de los grafos: puntos y flechas.* Barcelona, Marcombo. S.A.