

Boletín 6 ISSN 2411-6890





Boletín 6 ISSN 2411-6890

BOLETÍN DEL COLEGIO DE GEÓGRAFOS DEL PERÚ

Publicación digital de investigaciones geográficas

Número 6 - 2021

COORDINADOR EDITORIAL

John James Beraún Chaca

COMITÉ IMPULSOR

(COMISIÓN: GEOGRAFÍA Y ACTUALIDAD NACIONAL E INTERNACIONAL)

Katherine Bravo Leyva Amadeo Churasacari Churasacari Efraín Huaricacha Condori Juan Veliz Flores Paolo Rodríguez Romero John James Beraún Chaca

COMITÉ EDITORIAL (COMITÉ REVISOR)

María del Pilar Delpino Marimón
Victoria Espinoza Mendoza
Paola Moschella Miloslavich
José Ubeda Palenque
Miguel Alva Huayaney
María Luisa Varillas Arquiñigo
Martha Gwenn Bell
Juan Veliz Flores
María Isabel Murillo Injoque
Ricardo Enrique Bohl Pazos
Francisco José Olano Martínez
Silvia Lizarme Quispe
Julio César Olivo García

COMITÉ ASESOR (COMITÉ CONSULTIVO)

Hildegardo Córdova Aguilar Nicole Edel Laure Marie Bernex Weiss De Falen Juan Felipe Meléndez De La Cruz María Del Carmen Carrasco Coello Luis Alberto Oliveros Lakoma José Eduardo Arias Vera

CONSEJO DIRECTIVO DEL CGP

Gilmer Medina Tarrillo (Decano)
John James Beraún Chaca (Vicedecano)
Luis Johann Paniagua Guzmán (Secretario)
Erick Flores Patiño (Tesorero)
Patricia Karina Orellana De La Rosa (Encargada de
Asuntos Sociales)
Nilda Janampa Cacñahuaray (Fiscal)

CORRECCIÓN DE ESTILO

Yessina Salinas Ccapa

PORTADA Y EDICIÓN GRÁFICA

Marilyn Ishikawa Muchotrigo

© COLEGIO DE GEÓGRAFOS DEL PERÚ © BOLETÍN 6

ISSN: 2411-6890

Lima, Perú

Diciembre, 2021

© Los artículos presentados son de acceso abierto sujeto a la licencia Reconocimiento 4.0 Internacional de Creative Commons. No se permite un uso comercial de la obra original ni la generación de obras derivadas. Para más información, visite: https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/



CONTENIDO

EDITORIAL

ARTÍCULOS

1.	¿Hacia dónde va la geografía en América Latina?	13
	Hildegardo Córdova Aguilar	
2.	Análisis espacio temporal del área vegetal natural de humedal en el sector de Villa Baja del refugio de vida silvestre Pantanos de Villa del 2003 al 2019	31
	Paulo César Morales Núñez	
3.	Geografías Físicas del Perú: aportes y propuestas de regiones naturales a través de la historia	43
	Diego Flores Flores	
4.	Amunas, práctica ancestral de siembra y cosecha de agua para la seguridad hídrica. caso: San Pedro de Casta	59
	Cindy Cecilia Chavarría Castillo	
5.	Análisis geomorfológico-histórico del valle de San Rafael – Cuenca del río Casma, Perú	87
	César Abad Pérez	
6.	Nivel de eutrofización de la laguna San Nicolás (Cajamarca, Perú) aplicando teledetección satelital en un periodo de 20 años	115
	Deisy Lisset Carrasco Vela	
7.	Análisis comparativo: riesgo por contagio ante covid-19 en cuatro distritos de Lima Metropolitana	137
	Alex Fernando Arango Garayar	

Alex Fernando Arango Garayar Edras Martínez Lecca Isabel Mercedes Pino Capcha Jiancarlo Trujillo Luna Laura Adela Egoávil Morales Luz Nohelia Alvarado Mendoza Ronald J.J. Orellana Salazar

EDITORIAL

Geógrafos: producción científica en pandemia, retos y perspectivas

El año 2015 el Perú asumió compromisos globales en las Naciones Unidas; entre ellas, la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, el Acuerdo de París sobre el cambio climático, el Marco de Sendai sobre la reducción del riesgo de desastres, entre otros. Estos compromisos orientan el accionar del Estado en temáticas vinculadas al quehacer geográfico. Por tanto, los geógrafos tienen la oportunidad de contribuir con aportes teóricos, metodológicos y procedimentales en la gestión del riesgo de desastres, gestión de bosques, retroceso glaciar, entre otros.

Por otro lado, es innegable que el surgimiento de una nueva normalidad impuesta por la pandemia del COVID-19, trajo consigo nuevos retos también para la investigación geográfica. En este contexto, surgen varias preguntas relacionadas al quehacer de los geógrafos. ¿Podemos diagnosticar el territorio, identificar sus problemáticas y plantear alternativas de solución desde un escritorio? ¿Cómo se determinan los límites comunales o político-administrativos sin recorrer el terreno? ¿Se puede realizar el levantamiento catastral o el estudio de riesgo sin trabajo de campo? ¿Es posible reemplazar el trabajo de campo? Aunque la tecnología es un aliado clave, el trabajo de campo es sin duda una labor intrínseca a la actividad de los geógrafos y la imposibilidad de realizarlo también impacta en la producción científica.

La pandemia impone restricciones en la movilidad y obliga a repensar en otras formas de cubrir esa limitación temporal. En este contexto, resulta imprescindible generar sinergias con las organizaciones sociales de base, los gremios profesionales, la academia, el Estado y el sector privado. La geografía institucional, expresada en el Colegio de Geógrafos del Perú (CGP), la Sociedad Geográfica de Lima y el Instituto Geográfico Nacional, creadas mediante ley, así como la geografía académica, expresada en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos y la Pontificia Universidad Católica del Perú, son actores claves en este proceso.

En estos dos años de pandemia, aún con las limitaciones que ella impone, el CGP ha mantenido invariable su compromiso por contribuir en la difusión de la investigación y el conocimiento geográfico. La mejor expresión son las conferencias realizadas y especialmente las dos ediciones (N°5 y N°6) consecutivas del Boletín institucional.

El Boletín N°6 del Colegio de Geógrafos del Perú contiene siete artículos con investigaciones que fortalecen nuestra presencia profesional en temáticas como análisis de la contaminación del agua mediante teledetección satelital, amunas y gestión hídrica desde las comunidades campesinas, análisis de las geografías físicas del Perú, análisis comparativo del contagio de COVID-19, análisis espacio-temporal de humedales, análisis geomorfológico-histórico de cuencas y el futuro de la geografía en América Latina.

Los artículos del *Boletín N* $^{\circ}$ 6 nos invitan a reflexionar desde el uso de los conceptos en la geografía, los métodos que se utilizan para análisis específicos y el uso de las tecnologías en las investigaciones. Una labor coordinada con las otras instituciones geográficas potenciaría esta producción científica y el impacto que generaría.

El Perú pareciera iniciar un cambio de época, acorde a la tendencia de los países latinoamericanos y de las dinámicas globales. Ella, inicialmente, tiene expresiones políticas, que sería complementada con variaciones en la estructura económica y por supuesto jurídica. En este contexto, las

investigaciones geográficas tienen un campo mayor para el análisis y cobran vigencia temáticas históricas como la organización territorial del país, la conformación de regiones, el ordenamiento territorial, entre otras cuya discusión se encuentra postergada por muchos años. El escenario se presenta bastante alentador toda vez que el campo de acción y el nicho profesional se encuentran *in crescendo*. Posicionar la profesión en estas temáticas y contribuir efectivamente en el desarrollo nacional implica también profundizar en investigaciones geográficas y para su difusión el Boletín del Colegio de Geógrafos del Perú está a disposición.

John James Beraún Chaca

Coordinador Editorial y Vicedecano del Colegio de Geógrafos del Perú





¿HACIA DÓNDE VA LA GEOGRAFÍA EN AMÉRICA LATINA?

Hildegardo Córdova Aguilar, Ph. D Sociedad Geográfica de Lima, Perú

"Los geógrafos, junto a otros científicos sociales, se deben preparar para sentar las bases de un espacio verdaderamente humano, un espacio que una a los hombres por y para su trabajo, pero no para seguidamente separarlos en clases, entre explotadores y explotados; un espacio materia inerte trabajado por el hombre, pero no para que se vuelva contra él; un espacio, la Naturaleza social abierta a la contemplación directa de los seres humanos, y no un artificio; un espacio instrumento de la reproducción de la vida, y no una mercancía trabajada por otra mercancía, el hombre artificializado." (Milton Santos,1990:235).

RESUMEN

La geografía como ciencia siempre ha sido unitaria a pesar de los intentos de algunos de sus practicantes por dividirla entre las ciencias sociales y las ciencias físicas. Dentro de este contexto de unidad, la geografía siempre se ha distinguido dentro de las ciencias por estudiar los problemas que afectan el bienestar de las sociedades en sus territorios de manera integral, es decir tomando en cuenta las interacciones de los sistemas naturales y sociales en espacios y tiempos concretos.

La geografía como tal siempre ha sido y continúa siendo la más interdisciplinaria entre las ciencias. Tal vez esta interdisciplinariedad es la que ha permitido el desarrollo de una gran variedad de especializaciones que con el transcurrir del tiempo han resultado en nuevas líneas de interés con nombres propios como "ecología", "estudios ambientales" y otros. El desarrollo de herramientas tecnológicas también favorece la aparición de nuevas profesiones como el de los especialistas en Sistemas de Información Geográfica, que poco a poco van tomando cuerpo independientemente de la geografía, aunque sus objetos de interés son totalmente geográficos. Esta herramienta es utilizada por profesionales de perfiles ajenos a la geografía, lo que permite visualizar un futuro más fraccionado si es que no tomamos conciencia de sus impactos para la interdisciplinariedad, integridad y diversidad de la ciencia geográfica.

PALABRAS CLAVE: geografía, interdisciplinariedad, medio ambiente, unidad y diversidad.

DATOS DEL AUTOR

Geógrafo. Bachiller de la UNMSM, Magister en Geografía de la Universidad de Texas, Austin; doctor en Geografía por la UNMSM y Ph.D en Geografía de la Universidad de Wisconsin-Madison. Áreas de interés: ecología cultural, desarrollo rural, temas ambientales urbanos.

© Este artículo es de acceso abierto sujeto a la licencia Reconocimiento 4.0 Internacional de *Creative Commons*. No se permite un uso comercial de la obra original ni la generación de obras derivadas. Para más información, visite: https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/



INTRODUCCIÓN

La geografía como ciencia tiene una larga data y su objeto de estudio, los paisajes geográficos, han sido motivo de grandes discusiones en el transcurso de los siglos. El tema no es saber qué estudia la geografía sino cómo debe estudiar las ocurrencias de fenómenos en la superficie terrestre. Siempre se ha señalado que la geografía estudia las interrelaciones físicas y humanas en la superficie terrestre, pero estas interrelaciones son vastas y, por lo tanto, la geografía aparecía como carente de un soporte concreto que es lo que caracteriza a otras ciencias (Córdova Aguilar, 2002, p.15). Fue así como en 1939 apareció The Nature of Geography de Richard Hartshorne, en donde se reafirmó la condición de la geografía como ciencia física y humana dedicada al estudio integral de lugares entendidos como áreas, en donde el interés primario era encontrar los patrones de su diferenciación. El argumento era que para elaborar teoría y leyes en geografía era necesario estudiar varias áreas y en base a similitudes ir elaborando leyes. Según Hartshorne (1959) la geografía se interesa en proveer una descripción segura, ordenada y racional del carácter variable de la superficie terrestre. La amplitud espacial y epistemológica de esta definición que cubre un espectro muy amplio de temas que deben ser gestionados de manera integral, hizo que esta ciencia sea desde sus inicios la más interdisciplinaria que se conoce. La amplitud de temas de interés que resultan del estudio de las interrelaciones sociedad-naturaleza, ha favorecido una creciente especialización, y también a definiciones actuales que denotan enfoques particulares (Peet, 2005). Ya en el tercer cuarto del siglo XX, Monkhouse (1972) hizo notar que el concepto y campo de acción de la geografía había sufrido cambios considerables a través de los años; y existía un alto grado de probabilidad de que ninguna definición satisfaga a todo el mundo. Estas insatisfacciones se notan más marcadamente entre los geógrafos físicos y los humanos, donde cada uno insiste en los aspectos que más le interesan.

De Blij y Müller (1986, p.11) hacen notar que el interés inicial por la geografía surgió por la curiosidad de saber cómo se formaron las montañas, cómo se produce la erosión de suelos a lo largo de los ríos, a qué se deben los cambios climáticos, etc. Pero también destacaron el aspecto ambiental que propuso von Humboldt. Así Peter Haggett (1972: xix) nos recuerda que los geógrafos están interesados en el estudio de la estructura e interacción de dos sistemas mayores: el ecológico que conecta al hombre con su medio ambiente, y el espacial que conecta a una región con otra en un flujo complejo de intercambios (Córdova Aguilar, 2002, p. 16). Este atractivo por los aspectos físicos propiamente se fue debilitando al final del siglo XX y al entrar al siglo XXI ya dominan los temas humanos en sus diferentes manifestaciones. Sin embargo, el creciente interés por los temas ambientales está haciendo que los geógrafos de hoy se interesen en el mundo físico entendido como el medio natural que sirve de soporte a la sociedad. Así apareció un nuevo tema de interés que es el estudio de las interrelaciones entre cultura y ambiente natural o lo que Richard Peet (2005) denomina el estudio de las relaciones entre la sociedad y medioambiente natural. Para esto se continúa necesitando un conocimiento fuerte en geografía física, pero ya no por el hecho de saber, sino en cuanto esta ayuda a explicar el quehacer de las sociedades en lugares concretos y las diferenciaciones en el uso de sus recursos. Estas corrientes de pensamiento geográfico se extendieron por América Latina muy influenciadas por escritores franceses, alemanes, británicos y norteamericanos.



Fue a partir de la segunda mitad del siglo XX cuando surgió en América Latina una reflexión crítica sobre lo que se estudiaba en el campo de la geografía, liderada por el gran maestro, doctor Milton Santos. Su pensamiento sobre la forma de entender la geografía desde una mirada tercermundista y atendiendo a los problemas sociales de la segunda mitad del siglo XX está recogido en una extensa producción bibliográfica cargada de originalidad, rigor y viveza. Él mostró su disconformidad con lo que se estudiaba en geografía porque los actores no mostraban una conexión con los problemas socio territoriales existentes y propuso miradas diferentes a partir del concepto de espacio geográfico (Santos, 1990). Él definió el espacio geográfico como un conjunto indisoluble de sistemas de objetos -naturales y artificiales, y sistemas de acciones -deliberadas o no (Santos, 2000, p.18), a partir de las cuales se puede reconocer sus categorías analíticas internas: paisaje, configuración territorial, división territorial del trabajo, espacio producido o productivo, rugosidades, y formascontenido (Santos, 2000, p.19). De la misma manera, él plantea la cuestión de las delimitaciones espaciales, proponiendo debates sobre temas de interés geográfico como la región y el lugar, las redes y escalas. Propuso "la cuestión de la racionalidad del espacio como concepto histórico actual y futo, al mismo tiempo del surgimiento de las redes y del proceso de globalización (Santos, 2000, p. 19). Entre los conceptos constitutivos y operacionales pertenecientes a la realidad del espacio geográfico también incluyó el contenido geográfico de lo cotidiano a nivel local. Hay mucho que decir sobre Milton Santos y su impacto en el pensamiento geográfico latinoamericano contemporáneo, pero veamos lo que pasa con la geografía o con los actores latinoamericanos.

¿HACIA DÓNDE VA LA GEOGRAFÍA?

Vistos los antecedentes, se muestran a continuación algunas definiciones de geografía aceptadas en la literatura geográfica y que ayudan a visualizar las mutaciones conceptuales:

Entre otros conceptos, Milton Santos (1996, 2000, p. 21) señala que la técnica permite "empirizar" el tiempo y se encuentra inserta en la noción de medio geográfico. Es con la técnica donde lo "humano" y lo "no humano" se juntan y son inseparables y eso permite también superar dicotomías que son constantes en geografía. "...la principal forma de relación entre el hombre y la naturaleza, o mejor entre el hombre y el medio, viene dada por la técnica. Las técnicas constituyen un conjunto de medios instrumentales y sociales, con los cuales el hombre realiza su vida, produce y, al mismo tiempo, crea espacio" (*ibid.*: 27). Siguiendo esta línea de pensamiento Gustavo Buzai (2014, p.2) refiere que el centro de atención de la geografía es el análisis espacial (en la totalidad de escalas) que contiene al análisis geográfico -en escala humana- el cual se favorece enormemente por la circulación de datos geográficos masivos y por los medios de interacción que provee la neogeografía. Así, la geografía como ciencia se expande más allá de sus fronteras disciplinarias hacia una geografía global en vínculos científicos y la neogeografía en procedimientos sociales.

Urquijo y Bocco, (2016, p.157) anotan que el interés en la geografía de los últimos años se centra en entenderla como la disciplina que aporta al pensamiento interdisciplinario la visión territorial, pero enfatizando el aspecto social. Incluso, ellos establecen que el punto de inflexión del paso de la geografía hacia los temas más sociales ocurre en la década de 1990, cuando una serie de acontecimientos regionales, como gobiernos neoliberales, movimientos de reivindicación étnica, el fin de la guerra fría entre Estados Unidos y Rusia, y otros, llevaron a cambios geográficos y sociales



que, al mismo tiempo, invitaron a que los geógrafos entraran al campo de las posturas reflexivas sobre el quehacer de las ciencias sociales.

Estas definiciones resaltan el hecho de que la geografía es una ciencia global, interdisciplinaria e integradora y que se ubica en el cuartel de las ciencias sociales. Estudia tanto los territorios, sus características ambientales físicas y biogeográficas, como a las poblaciones, sus formas de ocupación del suelo, sus dinámicas, y sus interrelaciones con el ambiente que las rodea. Es decir, la geografía se interesa no sólo en averiguar lo que hay en un lugar dado sino en la forma como se usan los recursos dentro de ese espacio geográfico. Esto ha reforzado su participación en el ordenamiento territorial, la gestión ambiental, el desarrollo sostenible urbano y rural, los sistemas de información geográfica y la cibernética.

Sean Hampton-Cole (2014) en una nota para incentivar a los egresados de educación secundaria a seguir la carrera de geografía expresa que esta ciencia es la disciplina más grande, más relevante, más enfocada al futuro y más dinámica que existe. Esto es porque estudia literalmente todo lo que hay en el planeta tierra -elementos naturales y humanos. Comprende elementos de biología, historia, economía, matemáticas y un enorme paquete de ciencias. Es tanto una ciencia práctica como profundamente filosófica.

Una visión panorámica contemporánea nos muestra el predominio de líneas de razonamiento geográfico que responden a la ecúmene de los geógrafos dedicados a la investigación. En este contexto, como ya se dijo, destacan los temas relacionados con ambientes urbanos, la economía de los lugares, el cambio climático, contaminación, pobreza etc. Sin embargo, la interdisciplinariedad es evidente según aparece en las actas de los congresos internacionales de geografía, en los cuales, como muestra nos referiremos a dos casos:

1. En el congreso de 2019, la Asociación Americana de Geógrafos (AAG) registró 108 tópicos que incluyen a una diversidad de sesiones, algunas algo exóticas como el de geografía legal, geografía de los discapacitados, geografía bíblica y otros. Si bien se distinguen 25 tópicos enteramente conectados con la geografía física, predominan los aspectos de la geografía humana cultural, económica y social. Por supuesto, que la visión de estudios integrales relacionados con espacios regionales, y aspectos ambientales son cada vez más significativos. Los aspectos educativos, y discusiones filosóficas también están presentes en los tópicos de pensamiento geográfico, geografía histórica, geografía radical y de género.

TABLA 1.Tópicos y sesiones de los congresos de geografía de la Asociación Americana de Geógrafos (AAG) en los años 2010, 2018 y 2019

Nombre del tópico	N° de sesiones			Total
Normbre dei topico	2010	2018	2019	Total
África	167	210	212	589
Geografía de la agricultura	142	248	247	637
Geografía animal		81	63	144

Antropoceno		81	66	147
Geografía aplicada	157	157	143	600
Regiones áridas		22	24	46
Asia	194	179	215	588
Australia y Nueva Zelandia		28	19	66
Geografía conductual	67	44	51	162
Geografía bíblica	2	5	5	12
Biogeografía	121	163	155	439
Geografía de negocios	55	70	75	275
Canadá		60	49	109
Carreras y desarrollo profesional		12	12	24
Cartografía	96	107	101	304
China		140	274	414
Climatología y meteorología	126	228	213	780
Geografía costera y marina	72	135	117	324
Comunicación	66	107	76	249
Unión de sistemas humanos y naturales		137	147	431
Criósfera	26	38	48	112
Ecología cultural y política		394	406	800
Ecología cultural	132	32	27	191
Geografía cultural	386	513	467	1366
Cyber-infraestructura	41	65	59	165
Desarrollo		205	271	476
Discapacitados	21	27	22	70
Ciencia de la Tierra		61	55	116
Europa del Este	35	17	19	71
Geografía económica	334	527	590	1451
Energía	69	142	132	343
Ambiente	454	382	357	1550
Percepción ambiental			97	97
Ciencia ambiental			160	160
Geografía étnica	79	62	46	187

Etnicidad y raza		241	168	409
Eurasia	25	29	21	75
Europa	123	96	87	306
Métodos de campo		56	49	105
Sistemas de comida			29	29
Género	109	161	151	421
Pensamiento geográfico	102	53	57	210
Teoría geográfica		81	53	134
Geografía y salud urbana		124	142	266
Geografía	107			107
Educación geográfica	70	163	158	549
Geomorfología	74	147	109	330
GIS	324	601	712	1637
Cambio global	211	110	92	505
Peligros (hazards) y vulnerabilidad	119	274	163	556
Amenazas, riesgos y desastres		353	348	701
Educación superior		77	57	191
Geografía histórica	175	199	178	730
Historia de la geografía		27	22	49
Derechos humanos		68	104	172
Geografía humana ambiental		443	384	827
Inmigración/transnacionalización	103	103	97	400
Pueblos autóctonos	89	119	136	344
Usos del suelo	262	152	148	562
Cambios de uso del suelo y de cobertura vegetal		194	246	440
Paisaje		127	112	351
América Latina	188	186	194	762
Geografía legal			64	64
Teoría de localización		10	17	27
Recursos marinos y costeros		28	33	61
Geografía de marketing		14	8	22

Geografía médica y de salud	109	152	283	544
América Central		2	3	5
Asia Menor	48	66	60	174
Migraciones	103	195	167	465
Geografía militar	34	31	36	101
Montañas	51	69	67	187
Recursos naturales		94	100	194
Oceanografía		10	7	17
Islas del Pacífico		18	13	31
Cuenca del Pacífico		4	4	8
Cambios paleo-ambientales		90	75	165
Planificación	214	103	83	400
Geografía física		146	112	258
Regiones Polares		35	39	74
Geografía política	371	568	415	1354
Geografía de población	118	130	104	352
Métodos cualitativos		74	91	165
Investigación cualitativa	176	109	122	407
Métodos cuantitativos		164	142	306
Geografía recreacional	28	36	37	101
Geografía regional	161	83	63	307
Asociación de Estudios Regional	18			18
Religión	35	39	24	98
Sensores remotos	162	339	254	1009
Recursos	64	29	28	121
Geografía rural	100	44	137	281
Rusia	31	17	17	65
Sexualidad		46	44	90
Geografía social	332	330	239	1140
Teoría social		147	124	271
Suelos		25	32	57
Sudamérica		43	31	74



Análisis espacial y modelamiento	286	416	422	838
Ciencia de sostenibilidad		121	142	263
GIS Temporal		36	41	77
Tercer Mundo	96	20	35	151
Turismo	77	140	162	379
Geografía del transporte	91	252	251	594
Estados Unidos		131	129	260
Planificación urbana y regional		500	520	1020
Geografía urbana	482	1195	1052	3781
Recursos hídricos	169	288	276	733
Vino	4	11	14	29
Mujeres	48	49	48	193
Total de sesiones*	8,331	15,312	15,204	41,994

Averiguando las tendencias de las presentaciones en los congresos de geografía de la AAG en los últimos años, vemos que de los 20 tópicos de mayor interés que representan el 52.9% del total, el 86.2% se refieren a tópicos de geografía humana bajo diferentes nombres. Destacan los relacionados con temas que afectan la vida contemporánea como son los asuntos urbanos, ambientales, económicos, culturales y políticos, sociales y de planificación, así como las técnicas de análisis (Tabla 2).

TABLA 2Los veinte tópicos de mayor interés en los congresos de la Asociación Americana de Geógrafos (AAG) 2010, 2018 y 2019

N°	Tópico	N° de sesiones	% del total
1	Geografía urbana	3,781	9.0
2	GIS	1,637	3.9
3	Ambiente	1,550	3.7
4	Geografía económica	1,451	3.4
5	Geografía cultural	1,366	3.2
6	Geografía política	1,354	3.2
7	Geografía social	1,140	2,7
8	Planificación urbana y regional	1,020	2.4



9	Sensores remotos	1,009	2.4
10	Análisis espacial y modelamiento	838	2.0
11	Geografía humana ambiental	827	1.9
12	Ecología cultural y política	800	1.9
13	Climatología y Meteorología	780	1.8
14	América Latina	762	1.8
15	Recursos hídricos	733	1.7
16	Geografía histórica	730	1.7
17	Amenazas, riesgos y desastres	701	1.6
18	Geografía de la agricultura	637	1.5
19	Usos del suelo	562	1.3
20	Peligros (hazards) y vulnerabilidad	556	1.3
	Total	22,234	52.9

Fuente: AAG 2010. AAG Annual Meeting Program, Washington D.C, April 14-18. AAG, 2018. AAG Annual Meeting Program New Orleans, Louisiana, April 10-14. AAG 2019. AAG Annual Meeting Program Washington DC, April 3-7.

Un tema importante a resaltar es la literatura bibliográfica utilizada por los geógrafos. Existe el problema de la barrera lingüística que lleva a ciertas preferencias de idioma. Al respecto, Bauder y Engle-Di Mauro (2008, p. 2) señalan que se nota un cierto sesgo entre los geógrafos para atender estos problemas, como es el caso de los anglófonos europeos y norteamericanos, quienes casi ignoran las producciones académicas de los africanos o de los latinoamericanos. Sin embargo, estos mismos autores hacen notar que esta condición, ha mejorado en los últimos años al incluir los aportes feministas, sexuales y poscolonialistas. Así, se ha ido configurando el término "geografías críticas". También hay reclamos de segregación como el expuesto por Pulido (2002) quien señala que la geografía aparece como una ciencia de blancos en donde el tema racial casi no existe e invita a los geógrafos de color oscuro a trabajar sobre estos temas que ayuden a reforzar la identidad de grupo. Esta llamada de atención ya se venía atendiendo tímidamente en los últimos congresos de la AAG, en donde la geografía negra empieza a discutirse al menos en mesas redondas.

Otro tema que está tomando relevancia en la AAG es la geografía de la salud, especialmente a partir del 2019 que tuvo 544 sesiones de geografía médica y de salud. Seguramente la pandemia del COVID-19 reforzará el interés por conocer los endemismos de enfermedades y formas de distribución en el mundo. Asimismo, relacionada con la salud está la geografía de la comida que en el año 2019 tuvo 120 sesiones. Otro aspecto relevante en estos congresos es que se ha dado bastante importancia a los estudios regionales identificando regiones geográficas del mundo e incluso países como China y Rusia.



2 El otro grupo de congresos se refiere a los Encuentros de Geógrafos Latinoamericanos (EGAL) que se realizan en América Latina desde 1987. Esta idea de los encuentros de geógrafos latinoamericanos surgió como contraparte a la Conferencia de Geógrafos Latinoamericanistas (CLAG) que se fundó en 1970 inspirada por los geógrafos norteamericanos especializados en temas de América Latina. A lo largo de 34 años, los geógrafos latinoamericanos se reunieron en congresos bianuales que, según opiniones de expertos colegas, han reforzado la camaradería, atrayendo a personas, colectivos, representantes de la academia, estudiantes y profesionales lo que en conjunto permite tomar el pulso a la geografía de América Latina, una geografía del mestizaje como dijo María Fernanda López en el EGAL 2019 en Quito (López-Sandoval, 2019); y en donde participan "geógrafos militantes" como dijo nuestro colega y amigo Yuri Sandoval en su conferencia del 3 de febrero pasado.

Sin embargo, estos encuentros no cuentan con un reglamento formal y su organización queda al criterio de los organizadores de turno. Evolucionan a través de sus participantes que mantienen su esencia como actividad crítica, emancipadora y solidaria de los geógrafos, y de quienes acudimos a cualquier lugar de América Latina cuando se nos convoca. Esta "informalidad" necesita ser repensada y llevada a una organización formal que sirva de paraguas como ocurre con las asociaciones de geógrafos de otras partes del mundo. Por eso, en la reunión del VIIEGAL 1999 en San Juan, Puerto Rico, un grupo de asistentes decidió fundar la Unión Geográfica de América Latina (UGAL) en donde sus miembros no se inscriben a nivel personal, sino a nombre de sociedades de geografía, de asociaciones de geógrafos o asociaciones de geografía que representan. En vista que estas son muy pocas en América Latina, se decidió que se aceptara también a representantes de centros de investigación e incluso departamentos de geografía de algunas universidades en cuyos países no existe una asociación geográfica.

La UGAL, como asociación federativa podría desarrollarse institucionalmente y, eventualmente, abrirse a todos los geógrafos de América Latina que deseen inscribirse, para servir de paraguas a los EGAL, con personería jurídica asociada a la Unión Geográfica Internacional e incorporarse a la red mundial de geógrafos. Actualmente, la dirección de la UGAL está en manos de la Sociedad Geográfica de Colombia desde la reunión de Cali en el año 2015. Por lo tanto, seguimos esperando una revitalización de esta asociación, aumentado la interacción con nuestros colegas latinoamericanos.

Una mirada rápida a los Encuentros de Geógrafos Latinoamericanos (EGAL), entre el 2011 y el 2019, nos muestra que hubo un total de 38 ejes temáticos que suman 7,758 presentaciones (Tabla 3). Los temas de mayor atracción son enseñanza de la geografía; problemática urbana; espacios rurales y agricultura; vulnerabilidades, gestión de riesgos, problemática ambiental y cambio climático; gestión y ordenamiento territorial, catastro, políticas públicas y desarrollo sustentable; geografía física, recursos naturales y desarrollo de cuencas; y geografía política, globalización; desarrollo local, geografía económica, turismo y actores locales. Estos temas agrupan al 73.4 % (5,699) de las ponencias. No deja de llamar la atención la ausencia de ponencias relacionadas con estudios regionales mundiales como Europa, África, Asia y América del Norte. Solamente nos encasillamos en América Latina como problema y no avanzamos a escudriñar el espacio geográfico del resto del mundo y nos resignamos a que el resto del mundo nos estudie sin ofrecer respuestas como contraparte.



TABLA 3Ejes temáticos de los congresos de los Encuentros de Geógrafos Latinoamericanos (EGAL) 2011 al 2019

Eje temático		Número de ponencias				
		2013	2015	2017	2019	Total
Aplicaciones, fenómenos y ambientes biofísicos	107					107
Abordajes de la geografía política, económica e histórica	109				21	130
Epistemología, teoría e historia de la geografía	28	75	183	20	30	336
Enseñanza y aprendizaje de la geografía, educación geográfica	125	163	639	114	94	1,135
Geografía política, globalización, integración y dinámicas territoriales		80	352	68	36	536
Gestión y ordenamiento territorial, catastro, políticas públicas y desarrollo Sustentable		110	336	76	84	606
Desarrollo local, geografía económica, turismo y actores locales			451	57	27	535
Geografía física, recursos naturales, manejo de cuencas y áreas protegidas		90	400	49	51	590
Espacios rurales, agricultura y seguridad alimentaria	121	157	362	49	54	743
Metropolización, sistemas urbanos y su dinámica		227	394	58	122	939
Población, género e identidad.	81	80	282	39		482
Turismo y patrimonio	40	24	207			271
Tecnologías de la información geográfica, cartografía, SIG, Teledetección, IDE	44	35	205	40	43	367
Vulnerabilidades, gestión de riesgos, problemática ambiental y cambio climático	137	107	246	62	63	615
Geografía crítica latinoamericana				24	11	35
Geografía de la salud			50			50
Ecología política, territorio y naturaleza					27	27
Lugar, subjetividad y espacios de identidad					72	72
Geopolítica, territorio y gobernanza multinivel					25	25
Temas libres		157				157
Total	930	1,305	4,107	656	760	7,758

Fuente: XIII EGAL, 2011. XIV EGAL 2013. XV EGAL, 2015. XVI EGAL, 2017. XVII EGAL, 2019.

En el EGAL 2019 Quito se inscribieron 799 ponencias agrupadas en 15 ejes temáticos, de las cuales, se expusieron 760 incluyendo los posters. En las actas finales se identificaron 38 ejes temáticos agrupados en 15 según se muestra en la Tabla 4.



TABLA 4Ejes temáticos de la XVII EGAL 2019

Epistemología, teoría e historia de la geografía en América Latina	30		
Enseñanza, formación y profesionalización de la geografía			
Ecología política, territorio y naturaleza			
Biodiversidad, ambiente y recursos naturales			
Procesos físicos, cambio climático y riesgos			
Lugar, subjetividad y espacios de identidad	72		
Geografías críticas, colectivas y plurales			
Ciudad y transformaciones urbano-rurales			
Territorios rurales, paisajes alimentarios y nueva ruralidad			
Espacios del entretenimiento, del ocio y del turismo	27		
Planificación, gestión y ordenamiento territorial	84		
Tecnologías geoespaciales y geo-información	43		
Reestructuración capitalista, globalización y resistencia			
Geopolítica, territorio y gobernanza multinivel			
Integración, migración y procesos transfronterizos			

Tanto en los congresos de la AAG como en los EGAL, la tendencia es discutir los temas que afectan al mundo globalizado en donde existe una fuerte sensibilización hacia la actuación de los seres humanos en la superficie de la tierra y los efectos que resultan de esa actuación como sobrepoblación, presión sobre el uso de recursos naturales, cambio climático, riesgos y desastres, etc. Son evidentes las diferentes perspectivas según la localización de cada investigador, pero si se juntaran en una discusión conjunta resaltaría la interdisciplinariedad de la geografía como ciencia.

En cuanto a la formación profesional de los geógrafos, esta no es uniforme, sino que varía en función de las escuelas. Los europeos y latinoamericanos, por lo general, exigen para un posgrado en geografía tener estudios de pregrado en esta misma disciplina o en áreas afines. En los países anglófonos solo se exige que los candidatos a un posgrado tengan un bachillerato en artes o en ciencias. Esto es una estrategia para reforzar la interdisciplinariedad en la formación profesional del geógrafo. Como bien señala Bauder (2008, p. 60) para el caso de los Estados Unidos, la socialización académica de los geógrafos empieza en la educación universitaria de pregrado y posgrado. Los estudiantes esperan aprender conocimientos geográficos y verdades científicas, y se encuentran con que la mayor parte de los programas se esfuerzan en mostrar cómo se realizan los roles sociales y culturales esperados en la práctica geográfica. Así pues, hubo estudiantes con pregrado en matemáticas que al entrar a los departamentos de geografía innovaron las técnicas de investigación geográfica pasando del paradigma cualitativo al cuantitativo. Otros, con formación en economía, avanzaron en el uso de modelos de localización; otros con pregrado en biología avanzaron en las



investigaciones biogeográficas; y otros con formación en antropología avanzaron en el desarrollo de la geografía cultural, etc.

La geografía latinoamericana ha estado siempre expuesta y tutelada por el avance de los paradigmas de la geografía mundial que inicialmente se originaron en Europa y llegaron diferencialmente a las universidades latinoamericanas. Estos paradigmas más difundidos a partir de la segunda mitad del siglo XIX se sintetizan en el tiempo desde la geografía positiva del siglo XIX, la geografía regional desde fines del siglo XIX hasta más o menos 1930, la geografía cuantitativa entre la década de 1930 y 1970, la geografía de la percepción desde fines de 1960 hasta la década de 1990, la geografía marxista desde 1980 hasta el 2000, la geografía humanista desde 1980 hasta el presente, la geografía crítica desde el 2000 al presente, y la geografía ambiental desde el inicio del siglo XXI (Cuadra 2014). La secuencia de estos paradigmas es más con fines didácticos y las coberturas en el tiempo son solo indicativas y no significan cortes, sino que la intensidad de las actividades fue mayor en aquellos tiempos.

Actualmente, los geógrafos están entrando muy fuerte en los estudios ambientales algo que seguramente los llevará al paradigma de la geografía interdisciplinaria que une a las ciencias naturales con las ciencias sociales. Asimismo, dedican un buen tiempo de formación en el manejo de técnicas de información geográfica, al punto que ya se viene señalando que esto ha dado vida a una neogeografía (Buzai, 2014). Sin embargo, como bien señala Zunino (2010, p. 2) esto puede conducir a la formación de geógrafos con escaso potencial para "analizar crítica y constructivamente el mundo que nos rodea y sus interacciones en los planos físicos y sociales". Además, el conocimiento de estas técnicas está sujeto al avance tecnológico de las mismas y deja poco tiempo para la investigación de terreno que permite sentir al espacio y absorber sus fricciones, algo que ayuda a comprender el porqué de ciertas formas de ocupación del territorio que *a priori* parecerían irracionales.

Como toda ciencia, la geografía está en constante evolución y se inserta fácilmente en temas, a veces coyunturales, que entretienen a otras ciencias, como son los casos de las desigualdades que han llevado a líneas de investigación como la geografía radical, geografía del género, geografía de sostenibilidades ambientales, geografía del cambio climático, etc. Para citar un ejemplo, el tema central de la geografía radical gira alrededor de los conceptos espacio y sociedad. Los primeros trabajos en geografía radical como los de Elisée Reclus fueron holísticos e integraban bien los aspectos del medio ambiente natural con los aspectos sociales (Bauder, 2008, p. 71). Sin embargo, esto ha cambiado y en los últimos años se insiste en el diálogo de saberes que debe superar la colonialidad del saber y del poder. Solo así se avanzará hacia una emancipación del pensamiento latinoamericano utilizando categorías propias que valoricen la densidad epistémica y la geopolítica de los espacios de conflicto.

Dentro de estas concepciones radicales se insiste en que son las sociedades quienes configuran los paisajes en la tierra y que para entender estas actuaciones debemos desagregar, cuestionar las visiones de orden social imperantes en los lugares. Así, por ejemplo, se está poniendo en valor el rol de las mujeres, cuestionando los patriarcados, la segregación racial y social, las desigualdades económicas, las diferencias educativas, el empleo, etc. Esto hace notar que las degradaciones ambientales no se limitan a circunstancias locales, sino que en muchos casos se relacionan con



presiones internacionales para cambiar prácticas agrícolas y satisfacer las demandas de ciertos productos. Los geógrafos radicales están interesados en averiguar que algunas relaciones sociales que se toman como dadas -tales como el patriarcado, estructura de clases, desigualdad global - guían o refuerzan las formas como la gente piensa y actúa en el medio físico. La erosión del suelo, por ejemplo, no se considera un problema hasta que afecta los ingresos de los agricultores o de los grupos que controlan la tierra y tienen el poder para declarar eso como problema. La gente de los lugares podría no ver eso como un problema y lo manejan con estrategias ecológicamente sostenibles, pero aun así podrían enfrentar limitaciones en el uso de la tierra dictadas por gobiernos nacionales, agencias ambientales internacionales u otras fuerzas externas a su entorno (Blaikie, 1985; Leach and Mearns, 2008). Cerrando esta apreciación sobre la geografía radical es bueno recordar la opinión de Wisner (2008, p.301) quien coincide parcialmente con una apreciación hecha por Richard Peet en 1977, cuando señala que los geógrafos radicales han avanzado bastante en aspectos teóricos dentro de la línea espacial en geografía, pero han descuidado mucho la línea de relaciones hombre-ambiente. Wisner mismo hace notar en sus trabajos ambientales en Mozambique que en general los aspectos ambientales no están tan descuidados entre los geógrafos marxistas.

Recapitulando lo señalado en párrafos anteriores, la geografía es y seguirá siendo una ciencia interdisciplinaria. Ha avanzado bastante en interdisciplinariedad dentro de las ciencias sociales, pero se nota un atraso interdisciplinario en el área de las ciencias naturales o físicas. Es necesario optimizar el diálogo para comprender mejor los fenómenos físicos que se observan en la superficie terrestre. No hacerlo es como dejar un vacío que será tomado por nuestros vecinos en la ciencia como son los geólogos, biólogos, y otros. Se seguirá avanzando en el desarrollo de las Tecnologías de Información Geográfica (TIG) pero ojalá que no se pierda la práctica de campo porque es allí en donde realmente se siente el espacio geográfico.

Volviendo a los EGAL, en la reunión de Quito hubo una inquietud por ampliar los temas tratados. En ese sentido, surgieron expresiones que señalaron que el nombre del EGAL debería ser cambiado para que no sea solo de geógrafos, sino de "geografías" en plural. Esta idea no es nueva, sino que se viene escuchando, especialmente al entrar al siglo XXI, y obedece a que como hemos visto en los congresos de geografía hay una gran variedad de temas que van de la mano con una variedad de enfoques, en donde no hay jerarquías identificables, y como bien señaló Patricia Souto y Alejandro Benedetti (2011, p.111) no existe una perspectiva dominante y la práctica geográfica "se expresa desde una multiplicidad de enfoques y campos temáticos".

Es importante reflexionar sobre el término "geografías" porque aparece como una corriente que busca despedazar el concepto de geografía como una ciencia interdisciplinaria al de una geografía temática, super especializada, competitiva entre sus temas. No estoy de acuerdo con estas miradas sesgadas. En mi opinión, debemos mirar a una geografía interdisciplinaria, como siempre lo ha sido, en donde los fenómenos físico-naturales y sociales se analizan de manera conjunta. Esta búsqueda de identidad entre las ciencias nos hace perder la oportunidad de hacernos fuertes en los estudios ambientales que siempre han sido parte de la esencia misma de los estudios geográficos.

Las demandas sobre los estudios ambientales actuales han resultado en la aparición de programas especializados en las universidades como desarrollo ambiental, ingeniería ambiental y otros. Las



Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) seguirán desarrollándose y servirán de base para la cartografía digital y sus aplicaciones, especialmente en el ordenamiento territorial, pero ojalá que eso no termine en una geografía de escritorio con reconocimientos virtuales del terreno. Finalmente, los geógrafos latinoamericanos debemos abrirnos al mundo y estudiarlo en sus contextos regionales, debemos buscar la paridad del conocimiento y no dejar que el mundo nos estudie y opine sobre nosotros sin una retribución académica que vaya en sentido contrario, es decir, de nosotros, los latinoamericanos hacia el mundo.

REFERENCIAS

- Bauder, Harald y Salvatore Engle- Di Mauro (2008). *Introduction: Critical Scholarship, Practice and Education.* Critical Geographies: A Collection of Readings. Edited by Harald Bauder and Salvatore Engle-Di Mauro. Praxis Press. Kelowna, British Columbia, Canada. https://pdfs.semanticscholar.org/e5b2/cb3b8a50b54761c445380971550f620aa91f.pdf
- Blaikie, Piers (1985). The Political Economy of Soil Erosion in Developing Countries. Essex. Longman.
- Buzai, Gustavo D. (2014). *Neogeografía y Sociedad de la Información Geográfica. Una nueva etapa en la historia de la geografía.* Boletín del Colegio de Geógrafos del Perú. N° 001. http://cgp.org.pe/boletin/boletin-001/
- Córdova Aguilar, Hildegardo (2002). *Naturaleza y Sociedad, Una Introducción a la Geografía*. Lima, Pontificia Universidad Católica del Perú. Fondo Editorial.
- Cuadra, Dante Edin 2014. "Los enfoques de la geografía en su evolución como ciencia". Revista Geográfica Digital. IGUNNE. Facultad de Humanidades. UNNE. Año 11. Nº 21. Enero Junio. ISSN 1668-5180 Resistencia, Chaco.
- EGAL (2011). XIII Encuentro de Geógrafos de América Latina EGAL2011. Programa. San José. Universidad de Costa Rica, Universidad Nacional de Costa Rica
- EGAL (2013). XIV Encuentro de Geógrafos de América Latina EGAL2013. Programa Final del XIV EGAL. Lima, Perú; 9 al 11 de abril.
- EGAL (2015). XV Encuentro de Geógrafos de América Latina EGAL2015. Programa Científico. La Habana, Cuba; 6 al 10 de abril.
- EGAL (2017). XVI Encuentro de Geógrafos de América Latina EGAL2017. Programa Científico. La Paz, Bolivia; 26 al 29 de abril.
- https://www.egal2017.bo/programa/ Visitado el10/2/19.
- EGAL (2019). XVII Encuentro de Geógrafos de América Latina EGAL2019. Memorias: Hacia Geografía de la integración y la diversidad. Quito. Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE).
- Hampton-Cole, Sean (2014). ¿Why Geography is Good for You (and Why You Should Take it at School). (S/lugar). November 25. Recuperado de https://seanhamptoncole.wordpress.com/2014/11/25/why-geography-is-good-for-you-and-why-you-should-take-it-at-school/



- Hartshorne, Richard (1939). *The Nature of Geography: A Critical Survey of Current Thought in the Light of the Past*. Annals of the Association of American Geographers.
- Hartshorne, Richard (1959). The Nature of Geography, Lancaster, Penn., Assoc. of Am. Geographers.
- Leach, Melissa y Robin Mearns (2008). *Environmental Change and Policy*. Critical Geographies: A Collection of Readings. Edited by Harald Bauder and Salvatore Engle-Di Mauro (pp. 440-475). Praxis Press. Kelowna, British Columbia, Canada.
- López-Sandoval, María Fernanda (2019). *El Egal y su impacto en la geografía latinoamericana*. Patricia Polo-Almeida, Andrea Carrión y María Fernanda López-Sandoval (Coordinadoras). Debates actuales de la geografía latinoamericana. Visiones desde el XVII Encuentro de Geógrafos de América Latina, Quito.
- Peet, Richard (2005). Modern Geographical Thought. Malden, MA (USA), Blackwell Pub.
- Pulido, Laura (2002). Reflections on a White Discipline. Professional Geographer 54 (1), 42-59.
- Santos, Milton (1990). Por una geografía nueva. Madrid, Espasa-Universidad
- Santos, Milton (2000). *La naturaleza del espacio. Técnica y tiempo. Razón y emoción*. Barcelona, Ariel. Primera edición en español.
- Souto, Patricia y Alejandro Benedetti (2011). *Pensando el concepto de lugar desde la geografía*. En P. Souto [Coordinadora]. Territorio, lugar, paisaje. Prácticas y conceptos básicos en geografía. Bs As (pp. 83 128). Editorial de la Fac. de Filosofía y Letras; Universidad de Buenos Aires
- Urquijo Torres, Pedro y Gerardo Bocco Verdinelli 2016. *Pensamiento geográfico en América Latina: Retrospectiva y balances generales. Investigaciones Geográficas,* (Boletín, núm. 90, pp. 155-175). Instituto de Geografía, UNAM, México.
- Wisner, Ben 2008. *Does Radical Geography Lack an Approach to Environmental Relations?* En *Critical Geographies: A Collection of Readings*. Edited by Harald Bauder and Salvatore Engle-Di Mauro (pp. 301–321). Praxis Press. Kelowna, British Columbia, Canadá.
- Zunino, Hugo M. 2010. Desafíos para la formación de geógrafos nivel de posgrado en el área de las ciencias sociales críticas. GeoTrópico, NS 5: 1-8 Online, acceso el 25 de enero 2021. Recuperado de http://www.geotropico.org/NS_5_Zunino.pdf





Análisis espacio temporal del área vegetal natural de humedal en el sector de Villa Baja del refugio de vida silvestre Pantanos de Villa del 2003 al 2019

Paulo César Morales Núñez

RESUMEN

La zona de amortiguamiento del Refugio de Vida Silvestre Pantanos de Villa (RVSPV) permite tener un área de transición entre el humedal y la zona urbana de la ciudad de Lima en el distrito de Chorrillos. Lamentablemente, en los últimos veinte años hubo cambios de uso de suelo en esta parte de la ciudad que no fueron planificados ni ejecutados responsablemente.

El objetivo de la presente investigación es evaluar la evolución espacio-temporal de los humedales relictos del sector de Villa Baja, parte de la zona de amortiguamiento, y el área vegetal del Refugio de Vida Silvestre Pantanos de Villa entre los años 2003 al 2019. Para ello, se realizó un análisis de las extensiones vegetales en los años 2003, 2010, 2015 y 2019 utilizando imágenes satelitales de Google Earth. Los resultados de la investigación muestran una relación directa en el estado de ambos sectores.

Si la tasa de reducción del área vegetal en Villa Baja se mantiene significa que para el año 2031 podría no haber áreas de vegetación natural en este sector de la zona de amortiguamiento del humedal. En el caso del Refugio de Vida Silvestre Pantanos de Villa entre el 2003 y el 2015 hay una disminución en la cobertura vegetal natural de humedal. Pero, en el último período de análisis (2015 al 2019) se evidencia una recuperación. Los cambios identificados en la extensión vegetal se encuentran ligados a las actividades humanas que se desarrollan en el área y a la gestión del Estado, así como también al cambio climático.

PALABRAS CLAVE: zona de amortiguamiento, análisis espacio temporal, refugio de vida silvestre, humedal.

DATOS DEL AUTOR

Egresado de geografía con conocimientos de sistemas de información geográfica, gestión de riesgo de desastres, planificación urbana y rural, así como turismo y desarrollo sostenible. Se identifica como una persona empeñosa, respetuosa, y convencida de que el primer paso para el desarrollo de una comunidad es el fortalecimiento de su identidad.

Temas de interés: socio medioambientales, gestión de riesgo de desastres, planificación y ordenamiento del territorio, y turismo.

paulo.morales1@unmsm.edu.pe

https://orcid.org/0000-0003-3420-7520



© Este artículo es de acceso abierto sujeto a la licencia Reconocimiento 4.0 Internacional de *Creative Commons*. No se permite un uso comercial de la obra original ni la generación de obras derivadas. Para más información, visite: *https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/*

ABSTRACT

The buffer zone of the Pantanos de Villa Wildlife Refuge (RVSPV) allows a transition area between the wetland and the urban area of the city of Lima in the Chorrillos district. Unfortunately, in the last twenty years there have been changes in land use in this part of the city, which have not been planned or executed responsibly. The objective of this research was to evaluate the spatio-temporal evolution of the relict wetlands of the Villa Baja sector, which is part of the buffer zone; and the vegetation area of the Pantanos de Villa Wildlife Refuge in the years 2003 to 2019. For this, an analysis of the vegetation extensions was carried out in both in the years 2003, 2010, 2015, 2019; where Google Earth satellite images were used. The research results show a direct relationship in the state of both sectors. If this rate of reduction of the vegetation area is maintained in the case of Villa Baja, by the year 2031 we could not have areas of natural vegetation in this sector of the buffer zone of the wetland. Another is the case of the Pantanos de Villa Wildlife Refuge, which shows a decrease in the natural vegetation cover of the wetland from 2003 to 2015 but in the last period of analysis (2015 to 2019) a recovery is evident. The changes identified in the plant extension are linked to the human activities that take place in the area and to the management of the State, as well as to climate change.

KEYWORDS: buffer zone, spatial-temporal analysis, wildlife refuge, wetland.

© This article is of open access to the public and subject to the Creative Commons Attribution Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License. The commercial use of this original work and the production of derived works from this article is not allowed. For more information, please visit: https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/



I. Introducción

Hablar del Refugio de Vida Silvestre Pantanos de Villa (RVSPV) es hablar de un ecosistema de humedales costeros, definidos como extensiones pantanosas, turberas, marismas en las cuales se presentan superficies cubiertas de agua, ya sean de origen artificial o de régimen natural, dulces, saladas, temporales, permanentes, etc. Por la diversidad y complejidad que presentan muchas veces es difícil asignarlos en una determinada categoría (Frazier, 1999).

La Convención Ramsar asigna sitios específicos en el mundo para el uso adecuado de humedales, asimismo organiza y provee una serie de mecanismos flexibles para su cuidado con ayuda del gobierno. Uno de los principales enfoques para la selección de sitios Ramsar son las zonas que poseen importancia fundamental para el ciclo de vida de las aves migratorias. Otro criterio para conservar los distintos tipos de humedales, entre ellos los costeros, es su contribución a la reducción de los efectos provenientes del cambio climático (Sulca, 2020).

El Perú cuenta con un significativo número de humedales, abarca una cobertura aproximada de 8 millones de hectáreas, de los cuales 13 de ellos están incluidos dentro de la Convención Ramsar (Flores et al., 2020). Los humedales en Lima forman parte de un corredor biológico de toda la costa peruana en el que se han realizado múltiples estudios de flora y fauna (Aponte & Ramírez, 2011) y junto al Área de Conservación Regional (ACR) Humedales de Ventanilla son los únicos humedales costeros en la ciudad de Lima.

Los humedales, ubicados en el casco urbano de las ciudades, adquieren una importancia para la vida silvestre y las poblaciones humanas, porque cumplen funciones como la regulación de los regímenes hidrológicos, áreas para el desarrollo de la educación ambiental, el disfrute, esparcimiento y la provisión de recursos para las comunidades locales (Pulido et al, 2020). Sin embargo, estas interrelaciones no siempre son positivas, ya que en muchos casos las actividades antropogénicas como el crecimiento urbano, agricultura, drenaje, arrojo de residuos sólidos e incendios, alteran los procesos funcionales y la biodiversidad del humedal (Ramírez et al, 2018).

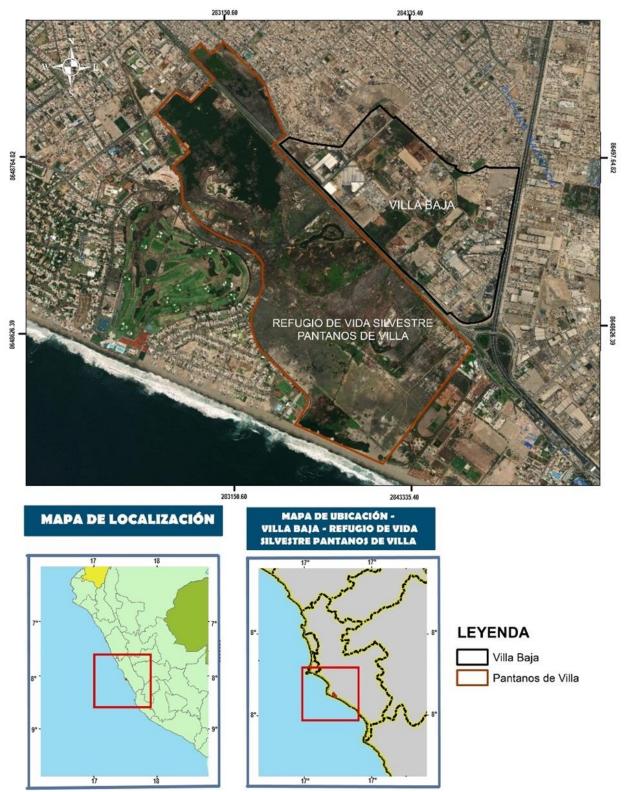
El Refugio de Vida Silvestre Pantanos de Villa (RVSPV) es un Área Natural Protegida (ANP) con un ecosistema muy frágil que en los últimos 17 años ha sufrido un acelerado deterioro, sobre todo en su área de amortiguamiento, específicamente en el sector de Villa Baja donde se encuentran los últimos tres manantiales que alimentan al RVSPV.

El Refugio de Vida Silvestre Pantanos de Villa se ubica en el desierto costero en el sur de la ciudad de Lima, en el distrito de Chorrillos, a la altura de los kilómetros 18 y 21 de la antigua carretera de la Panamericana Sur (Figura 1). Cabe mencionar que parte del RVSPV se ubica en una zona de litigio entre los distritos de Chorrillos, Surco y Villa El Salvador. Este humedal se formó a partir de las aguas subterráneas del río Surco. Lamentablemente, ha perdido 17% de áreas vegetales entre el 2008 y el 2018. El gramadal es la unidad de vegetación de mayor reducción (Flores et al., 2020).

El objetivo principal de este artículo es evaluar y analizar la relación de la evolución espacio-temporal de los humedales relictos de la zona de amortiguamiento del sector de Villa Baja y del Refugio de Vida Silvestre Pantanos de Villa entre los años 2003 y 2019 para demostrar la importancia de preservar estas zonas con actividades sostenibles y acordes a cada espacio.

FIGURA 1.

Mapa de ubicación del sector de Villa Baja (línea punteada) correspondiente a la zona de amortiguamiento y el área de vegetación de humedal del Refugio de Vida Silvestre Pantanos de Villa



Elaboración propia.



JUSTIFICACIÓN

Las Áreas Naturales Protegidas (ANP) son espacios que tienen como finalidad preservar y utilizar de manera sostenible el área natural para su aprovechamiento futuro. En ese sentido, identificamos al Refugio de Vida Silvestre Pantanos de Villa como la única ANP que se encuentra en una ciudad, en este caso de Lima. Es muy importante preservar esta área porque luego del ecosistema de Lomas, estos humedales son el área natural más extensa de Lima, una ciudad que tiene una proporción muy baja de áreas verdes por habitante. Por otro lado, en los últimos 20 años se ha identificado una acelerada degradación de esta ANP lo cual pone en peligro su existencia a largo plazo.

Esta investigación es importante porque elabora una base de datos que se compartirá con las autoridades competentes para que puedan actuar intensamente en la preservación y gestión de esta ANP. Además, se busca generar conciencia en la población local, así como en los visitantes.

OBJETIVOS

OBJETIVO PRINCIPAL

Evaluar y analizar la relación de la evolución espacio-temporal de los humedales relictos de la zona de amortiguamiento del sector de Villa Baja y del Refugio de Vida Silvestre Pantanos de Villa entre los años 2003 al 2019.

OBJETIVOS SECUNDARIOS

- Realizar una protección tendencial de ambos sectores hasta lograr predecir en que año no habría más área vegetal de humedal.
- Identificar las secciones de cada sector en donde el deterioro ha aumentado.

MÉTODO

Esta investigación es de tipo mixta. La metodología empleada fue la aplicación de la percepción remota o Teledetección y Sistemas de Información Geográfica con la que se realizó un análisis espacio-temporal mediante el uso de imágenes satelitales de Google Earth de los años 2003 (agosto), 2010 (marzo), 2015 (enero) y 2019 (octubre). Este análisis se realizó en la zona de Villa Baja, ubicada en el área de amortiguamiento de los Pantanos de Villa, y el área vegetal del Refugio de Vida Silvestre Pantanos de Villa. Para esto se delimitó el área de vegetación natural de cada sector durante cada año señalado, luego se realizó una comparación la relación de los cambios que podría tener la extensión de la vegetación natural entre ambos lugares.

Asimismo, mediante los mapas de zonificación podemos llegar a una idea de las posibles causas de las condiciones actuales de ambos sectores a causa de las actividades antrópicas realizadas en el sitio; y gracias a las salidas de campo se pudo constatar actividades económicas que no están permitidas, pero que se practican de manera irregular en este lugar.

Para elaborar un pronóstico relacionado a la tendencia en ambos sectores fue necesario hallar la tasa de crecimiento anual y hacer una proyección hasta el 2031, año en el que se proyecta que la



zona relicto del humedal puede quedar reducida a cero hectáreas, es decir, ya no habría vegetación. Esta proyección no es posible realizar con el RVSPV debido a que del 2003 al 2015 se mantiene una tendencia hacia la disminución del área vegetal natural de humedal, hecho que se evidencia en el 2019 cuando la tendencia comienza a mejorar y romper el patrón hallado en los primeros doce años (Figura 1).

Finalmente, al analizar las imágenes 2 y 3 es posible identificar cuáles son los sectores que han perdido más área vegetal natural entre el 2003 y el 2019 y que requieren mayor atención.

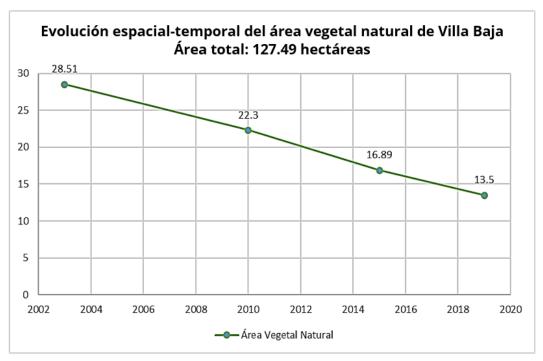
RESULTADOS

EVOLUCIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LA VEGETACIÓN DE HUMEDAL DE VILLA BAJA

La zona de Villa Baja es fundamental para garantizar la existencia del Refugio de Vida Silvestre Pantanos de Villa. En este lugar se encuentran los últimos tres manantiales que alimentan los Pantanos de Villa, cuya vegetación cumple un rol importante para el cuidado del agua.

Con ayuda de imágenes satelitales de Google Earth se identificó que la zona de Villa Baja perteneciente a la zona de amortiguamiento cuenta actualmente con un área total de 127.49 hectáreas. En ese sentido, se realizó un análisis del área vegetal natural de humedal de esta zona entre el 2003 y el 2019. Durante este período el área de relicto de humedal pasó de tener 28.51 hectáreas (2003) a 13.50 hectáreas (2019), lo que significa una reducción de 52.7% en un periodo de 16 años (Figura 2).

FIGURA 2.Evolución espacio-temporal de los humedales relicto de la zona de amortiguamiento del sector de Villa
Baja del 2003 al 2019

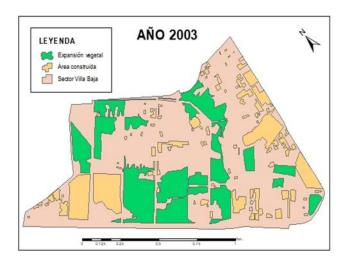


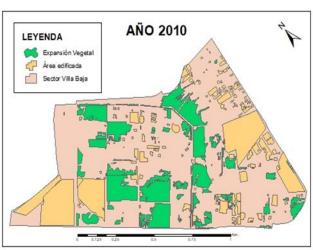
Elaboración propia.

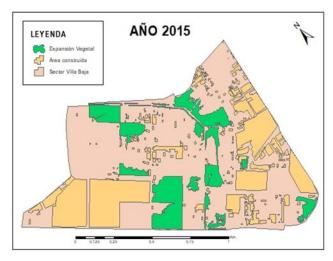


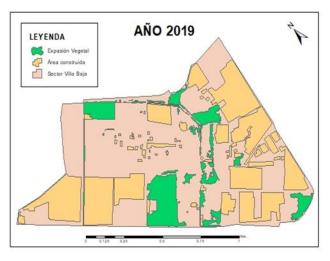
El área que ha tenido mayor disminución en la extensión de relicto de humedal ha sido la zona correspondiente a un grupo de almacenes donde, incluso en los primeros años de estudio, había una pequeña laguna. Cerca de este lugar, colindante a la avenida Vista Alegre, se puede notar que el área de humedal aledaña a los campos agrícolas también se ha reducido notablemente, afectando la zona correspondiente a la avenida Horticultores, así como el inicio de la avenida Ganaderos, en donde hoy podemos encontrar la presencia de empresas radiales (Figura 3).

FIGURA 3.Mapas de la evolución espacio-temporal de los humedales relicto de la zona de amortiguamiento del sector de Villa Baja del 2003 al 2019









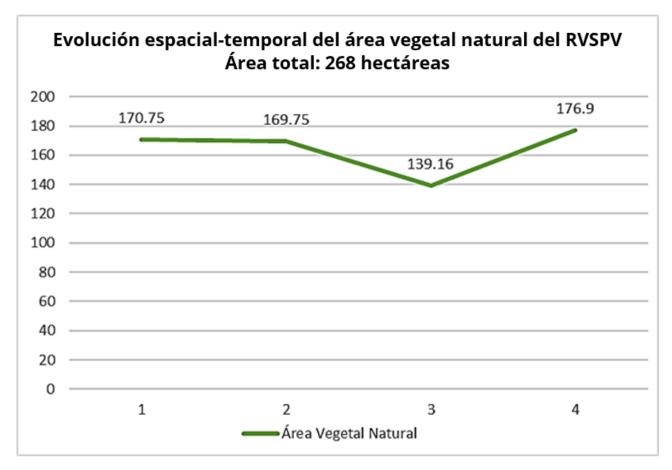
Fuente: Adaptado de Evolución espacio-temporal de humedales relicto: el caso del sector de Villa Baja del Sitio Ramsar Los Pantanos de Villa (2003-2019) por Campos, J; Huachaca, J; & Morales, P. (2020).



EVOLUCIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LA VEGETACIÓN DE HUMEDAL DEL RVSPV

El Refugio de Vida Silvestre Pantanos de Villa (RVSPV) cuenta en la actualidad con 268 hectáreas, en esta zona se realizó un análisis que comprende el período que va desde el año 2003 al 2019 y que revela que el área ocupada de vegetal natural de humedal pasó de 170.75 ha a 176.9 ha, esto quiere decir que hubo un incremento de 1.04% en un período de 12 años (Figura 4).

FIGURA 4.Evolución espacio-temporal de la vegetación natural de humedal del Refugio de Vida Silvestre
Pantanos de Villa del 2003 al 2019

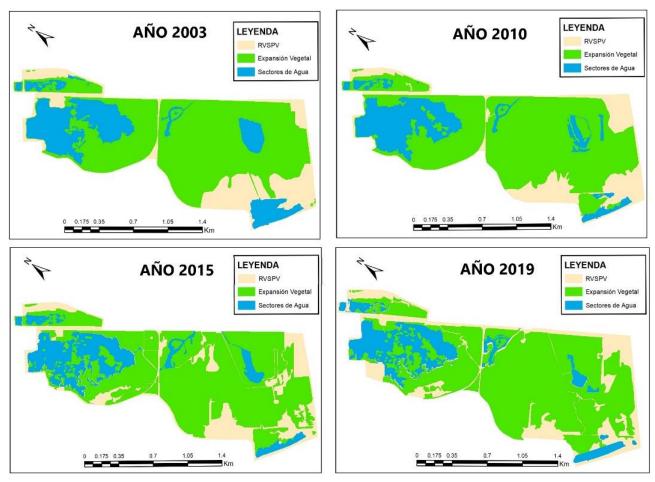


Elaboración propia.

En el RVSPV, una de las áreas que se ha visto expuesta a más cambios es la zona de Marvilla. Este lugar que se encuentra muy próximo al mar ha sido afectado por las malas prácticas de algunos ciudadanos, falta de personal para patrullaje, así como un problema de litigio con un club que ofrece paseos a caballo en terrenos correspondientes al RVSPV (Figura 5).



FIGURA 5.Mapa de la Evolución espacio-temporal de la vegetación natural de humedal del Refugio de Vida Silvestre Pantanos de Villa del 2003 al 2019



Elaboración propia.

TENDENCIA DE LA VEGETACIÓN NATURAL DE VILLA BAJA Y EL REFUGIO DE VIDA SILVESTRE PANTANOS DE VILLA (RVSPV)

En el sector de Villa Baja, que cuenta con una extensión de 127 hectáreas, el panorama es muy poco alentador. Según el análisis realizado en esta investigación, la zona urbana cuenta con 41.22 ha desde el 2019 mientras que la zona relicto del humedal cuenta con 13.5 ha. Si esta tendencia se mantiene en el tiempo significa que en el año 2031 ya no habrá una extensión mayor de relicto de humedal en la zona de Villa Baja. Hay que destacar que en el último período (2015 al 2019), aunque la disminución del área vegetal se ha mantenido también se ha desacelerado al igual que en el RVSPV debido a que se han tomado medidas de protección en la zona.

La tendencia del RVSPV cambió entre 2015 y 2019. El área vegetal dejó de disminuir y aumentó a 176.9 hectáreas debido a que en los últimos años la Autoridad Municipal de los Pantanos de Villa (PROHVILLA) sumó fuerzas en la gestión del área, aplicó medidas de protección y difusión de su cuidado.



IDENTIFICACIÓN DE ESPACIOS MÁS DETERIORADOS EN VILLA BAJA Y EL RVSPV

Si bien toda el área de estudio ha sufrido cambios a lo largo de estos años, hay sitios y corredores que se han visto más afectados. A continuación, citamos estos sectores con los cambios más relevantes.

En Villa Baja, en el sector correspondiente a las zonas aledañas a las avenidas Ganaderos – Horticultores, avenida Vista Alegre y en el área de los almacenes de la empresa Savar, el área vegetal que se ha perdido suma un total de 17 hectáreas aproximadamente (Figura 3).

Por otro lado, en el Refugio de Vida Silvestre Pantanos de Villa hay un mayor deterioro en el área más austral, área que se encuentra colindante a un rancho de caballos y playa. El área vegetal perdida suma un total 40 de hectáreas aproximadamente (Figura 5).

DISCUSIÓN

Los humedales son parte de la ciudad de Lima, pero son arrasados por distintas actividades antrópicas que ocupan zonas donde antes había presencia de humedales costeros. Esta situación pone en riesgo de desaparición en un futuro no muy lejano estos ecosistemas; algo que ha sido evidenciado en estudios de humedales urbanos en Chile de Rojas et al. (2019).

En el área de estudio se constató a través de visitas de campo y de un análisis visual con Google Earth cómo las actividades antropogénicas han repercutido negativamente en la zona de amortiguamiento del RVSPV. Estas destacan la inadecuada disposición de residuos sólidos de los pobladores, la acumulación de desmontes provenientes de distintos puntos de Lima y que son depositados en esta zona de manera indiscriminada.

Además, a inexistencia de un ordenamiento territorial en esta zona hace que las personas construyan viviendas precarias en lugares en donde antes había presencia vegetal natural. Esta situación ocasiona obstrucciones en el flujo de los canales que conectan directamente con el sitio RAMSAR provocando que las aguas naturales sean usadas para el lavado de vehículos y vertimientos de aguas grises y hervidas.

Finalmente, la gestión tiene un rol muy importante y trascendental para garantizar la existencia de esta ANP. Prueba de ello es el último período de análisis (2015 - 2019) que evidencia una desaceleración en el deterioro de Villa Baja y una recuperación en el RVSPV. Este resultado es producto del trabajo realizado por PROHVILLA, principal actor gestor de esta ANP, que es un órgano perteneciente a la Municipalidad Metropolitana de Lima y que trabaja de la mano con las municipalidades locales y con el Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estados (SERNANP).

CONCLUSIONES

Existe una relación directa entre el estado de la zona de amortiguamiento con la zona de interés, hecho que se ha evidenciado con la data analizada y que revela que sin un cuidado debido ambas partes podrían desaparecer. Pero como explicamos líneas arriba, una buena gestión del territorio puede frenar este deterioro. Esto se está logrando con el RVSPV que a partir de una gestión e intervención más intensiva de PROHVILLA ha podido recuperar esta área natural protegida. Sin



embargo, aún hace falta sumar fuerzas para garantizar el buen estado de la zona de amortiguamiento de Villa Baja cuya recuperación todavía no es posible.

Es fundamental preservar las zonas de amortiguamiento debido a que son la primera línea de defensa, así como la línea de transición entre una ANP y su entorno, en este caso, la ciudad de Lima. Es por ello que toda actividad que se realice en estos sitios debe ser respetuosa y sostenible con el ambiente para garantizar su preservación en el tiempo.

El sector de Villa Baja se encuentra bastante deteriorado ya que se han perdido 15.01 hectáreas desde el 2003, y si no se toman medidas correctivas más radicales para su cuidado para el 2031 no habrá ahí más zona de relicto Esto pone en peligro la permanencia en el tiempo del RVSPV debido a que la calidad de las aguas que salen de los tres manantiales de Villa Baja y que alimentan a este humedal serán más expuestos a la contaminación ya que la vegetación tiene no solo protege el suelo, sino que también actúa como un filtro ante los contaminantes externos.

Por último, es fundamental actuar de manera conjunta. Las autoridades tienen la capacidad para accionar en la zona, pero es necesario incluir y empoderar a la población en el cuidado y aprovechamiento responsable de estos ecosistemas, en especial, a la población que está más cerca del entorno a esta área natural. Lograr este objetivo podría permitir ver mejoras y resultados favorables en los próximos años.

REFERENCIAS

- Aponte Ubillús, H., & Ramírez Huaroto, D. W. (2011). *Humedales de la costa central del Perú: Estructura y amenazas de sus comunidades vegetales.* Ecología aplicada, 10(1), 31-39.
- Campos, J; Huachaca, J; & Morales, P. (2020). *Evolución espacio-temporal de humedales relicto: el caso del sector de Villa Baja del Sitio Ramsar Los Pantanos de Villa (2003-2019).*
- Flores, N., Castro, I., & Aponte, H. (2020). *Evaluación de las unidades de vegetación en Los Pantanos De Villa (Lima, Perú) mediante sistemas de información geográfica y teledetección.* Arnaldoa, 27(1), 303-321.
- Frazier, S. (1999). Visión General de los Sitios Ramsar: una sinopsis de los humedales de importancia internacional en el mundo.
- Pulido Capurro, V. M., & Bermúdez Díaz, L. (2018). *Estado actual de la conservación de los hábitats de los Pantanos de Villa, Lima, Perú.* Arnaldoa, 25(2), 679-702.
- Pulido, V., Salinas, L., del Pino, J. & Arana, C. (2020). *Preferencia de hábitats y estacionalidad de las especies de aves de los Pantanos de Villa en Lima, Perú.* Revista peruana de biología, 27(3), 349-360.
- Ramírez, D., Aponte, H., Lertora, G. & Gil, F. (2018). *Incendios en el humedal Ramsar Los Pantanos de Villa (Lima-Perú): Avances en su conocimiento y perspectivas futuras.* Revista De Investigaciones Altoandinas, 20(3), 347-360.
- Rojas, C., Munizaga, J., Rojas, O., Martínez, C., & Pino, J. (2019). *Urban development versus wetland loss in a coastal Latin American city: Lessons for sustainable land use planning.* Land use policy, 80, 47-56.
- Sulca, G. M. L. (2020). Gobernanza ambiental y conservación: las gestiones del SERNANP y PROHVILLA en el Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa. Revista Argumentos, 1(1), 119-124.





GEOGRAFÍAS FÍSICAS DEL PERÚ: APORTES Y PROPUESTAS DE REGIONES NATURALES A TRAVÉS DE LA HISTORIA

Diego Flores Flores

RESUMEN

Perú se ubica en la zona tórrida del planeta, es decir, en latitudes tropicales. No obstante, muchos factores contribuyen a una gran variedad geográfica, climática y biodiversa. Desde tiempos prehispánicos, la geografía del actual territorio peruano ha sido reconocida por antiguas civilizaciones y culturas que tenían un conocimiento amplio sobre su espacio. El presente trabajo pretende examinar las regiones naturales y desglosar las clasificaciones realizadas y reconocidas por académicos del Perú. La investigación se basó en información recabada en libros y documentos especializados en geografía peruana.

Tras la llegada de los españoles, los europeos dividieron al Perú en las clásicas tres regiones naturales. A mediados del siglo pasado, Javier Pulgar Vidal introdujo al Perú en la geografía científica moderna al sistematizar en su obra ocho regiones naturales considerando factores naturales y culturales. Otra clasificación reconocida ocurre a finales del siglo XX, cuando Antonio Brack Egg incorpora el concepto de "ecorregión" para clasificar regiones naturales del país recurriendo a factores físico-naturales. Surge entonces una reflexión sobre la trascendencia de las anteriores clasificaciones en el ámbito académico y profesional; asimismo se delibera sobre la transmisión y enseñanza de dichas clasificaciones en la educación básica y regular peruana.

PALABRAS CLAVE: geografía física, clasificaciones, regiones naturales, ecorregión.

DATOS DEL AUTOR

Egresado de la Escuela Profesional de Geografía de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, con experiencia en talleres, labores y voluntariados en diversas instituciones públicas y privadas ejerciendo ocupaciones relacionadas a las ciencias geográficas, ambientales, territoriales y regionales.

diego.flores3@unmsm.edu.pe

© Este artículo es de acceso abierto sujeto a la licencia Reconocimiento 4.0 Internacional de *Creative Commons*. No se permite un uso comercial de la obra original ni la generación de obras derivadas. Para más información, visite: *https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/*



ABSTRACT

Peru is located in the torrid zone of the planet, in the tropical latitudes. However, many factors contribute to a great geographic, climate and biodiversity variety. Since pre-Hispanic times, the geography of the current peruvian territory has been recognized by ancient civilizations and cultures that had extensive knowledge about their space. The present paper tries to examine the natural regions and to break down the classifications made and recognized by peruvian academics. The investigation was based on information gathered in books and documents specialized in peruvian Geographic Science. After the arrival of the spanish, the europeans divided Peru into the classic three natural regions. It is considered that, in the middle of the last century, Javier Pulgar Vidal introduced modern Geographic Science to Peru after systematizing in his tesis eight natural regions considering natural factors and cultural factors. Another recognized classification occurred at the end of the 20th century, when Antonio Brack Egg incorporated the concept of "ecoregion" to classify natural regions of the country using physical-natural factors. It is reflects on the importance of the previous classifications in the academic and professional scope. Also it is deliberates on the transmission and teaching of previous classifications in peruvian basic and regular education.

KEYWORDS: physical geography, classifications, natural regions, ecoregion.

© This article is of open access to the public and subject to the Creative Commons Attribution Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License. The commercial use of this original work and the production of derived works from this article is not allowed. For more information, please visit: https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/



INTRODUCCIÓN

Perú se ubica inmediatamente al sur de la línea del ecuador. Se localiza, por tanto, en la zona tórrida o ecuatorial del planeta. Esta zona se asocia generalmente a densos bosques tropicales, húmedos, cálidos, pluviosos y permanentemente verdes. No obstante, al mismo tiempo que hay bosques tropicales, hay también desiertos arenosos y rocosos adyacentes al mar, mesetas e inclusive montañas cubiertas de nieve perenne.

La geografía tan compleja del país se debe a muchos factores naturales, pero el más importante sin duda es la cordillera de los Andes, cuyo recorrido por el país es de manera longitudinal, es decir de norte a sur y paralela al océano Pacífico. En la vertiente occidental de la cordillera se encuentra el desierto costero y en la oriental, el bosque tropical, en donde llueve mucho todo el año. Mientras que en el desierto costero no llueve, en las montañas andinas llueve algunos meses al año. Estas lluvias en los Andes discurren hasta el mar por efecto de la gravedad, originando ríos que atraviesan el desierto costero y valles que permiten la formación de poblaciones de plantas, animales y seres humanos. Por tanto, el desierto costero no es del todo inhabitable gracias a los valles originados por las lluvias andinas.

Las lluvias andinas se originan gracias a las nubes transportadas por los vientos alisios soplados por el anticiclón del Atlántico Sur y se precipitan en su recorrido por todo el continente sudamericano, constituyendo así la Amazonía, el bosque tropical más extenso del planeta y de gran biodiversidad ubicado al oriente del Perú. Los vientos húmedos que provienen desde el este se encuentran con la cordillera y ascienden, de modo que cada vez que viajan hacia al oeste son menos húmedos y más fríos, precipitándose en forma de nieve o granizo en las altitudes de la cordillera.

Una vez que los vientos secos y fríos atraviesan toda la cordillera y descienden hacia el océano Pacífico se encuentran con un ambiente que ha sido enfriado por la corriente Peruana o de Humboldt, corriente marina fría que nace en la Antártida y recorre paralelamente las costas de Chile y Perú hasta la frontera con Ecuador, donde colisiona con la corriente cálida de El Niño que proviene desde el norte. Cada cierto tiempo esta corriente cálida penetra más hacia el sur, deformando el clima y provocando ingentes lluvias inusuales en el desierto costero, causando la denominada Oscilación del Sur El Niño o también fenómeno de El Niño.

El ambiente frío del desierto costero también ocasiona una bruma en los meses de invierno cuya humedad provoca oasis temporales llamados lomas. Ahí, la niebla es más espesa y constante, incluso, algunas colinas del desierto costero se tiñen de verde por esta vegetación temporal. Las lomas solo se pueden apreciar en el invierno porque en el verano vuelven a ser el desierto de siempre. Adicionalmente, el anticiclón del Pacífico Sureste contribuye al ambiente frío del desierto costero con la subsidencia de presión atmosférica que ejerce, la cual se ve fortalecida por las bajas temperaturas superficiales del océano.

Aparte de los factores climáticos, hay otros derivados de la morfología de la cordillera porque los Andes no tienen el mismo ancho, ni altitud en todo su recorrido. Desde Venezuela hasta el norte de Perú, los Andes no tienen ni gran amplitud, ni altura. Desde el nudo o macizo de Pasco, en el centro de Perú, la cordillera toma mayores dimensiones. Las mesetas y las altas montañas se observan más frecuentemente en el sur. En tanto que las extensiones y dimensiones configuran que los Andes sean más húmedos, al norte del macizo de Pasco, mientras que al sur son más áridos.



La modelación de los Andes también provoca que los ríos de la vertiente oriental sean, en un principio, torrentosos por la pendiente alta de las montañas y luego, al llegar a la llanura amazónica de baja pendiente tengan un gran caudal, sinuoso y de lento recorrido. En el área andina, entre dos montañas se ubican profundos cañones donde los ríos son torrentosos y discurren con una gran pendiente que luego disminuye conforme se acerca al nivel del mar. En el desierto costero los ríos son poco caudalosos y su volumen depende de la temporada de lluvias andinas.

La descripción anteriormente detallada del Perú corresponde a su geografía física o fisiografía, la cual es definida por Strahler (1989) como "el conjunto de principios básicos sobre el saber de la atmósfera, océanos, rocas, suelos, vegetación, relieve terrestre" (p. 1), entre otras características.

Al observar la geografía física del Perú, se puede decir que estas áreas geográficas contrastan tanto que es imposible que se articulen entre sí. Sin embargo, nunca estuvieron desintegradas y su articulación se debe a mecanismos utilizados por antiguos pueblos, culturas y civilizaciones que ocuparon el actual Perú.

Los primeros habitantes del actual Perú aún no dominaban técnicas agrícolas y se dedicaban a la caza, pesca y recolección. Con el tiempo dominaron la agricultura y la ganadería, el crecimiento poblacional comenzó a ejercer presión sobre el ambiente. En efecto, Kauffman (1991) afirma que, si el suelo y los campos de estos territorios fueran aptos para los cultivos, suficientes como para sostener el crecimiento de la población, no se hubieran construido las terrazas de cultivos, andenes ni canales de irrigación que sostuvieron una producción agrícola eficiente; a esto se suma los fertilizantes naturales como el abono de las aves de islas o de las llamas.

Los conocimientos de dominación del medio ambiente se desarrollaron y afianzaron en la cultura de los antiguos peruanos conforme pasaban los siglos. Diversos pueblos surgieron en el desierto costero como Nasca, Mochica, Paracas, así como Chavín, Wari y Tiwanaku en las montañas y mesetas andinas.

Tiwanaku fue una cultura que se estableció en los alrededores del lago Titicaca, en la meseta peruano-boliviana. Su política expansiva no se realizó en base a conquistas militares, sino que se basó en colonizar lugares con un ambiente diferente a su región de origen con la técnica llamada control vertical de pisos ecológicos. De esta forma, se podía conseguir suministros de uno y de otro lado del altiplano: al occidente, mirando al océano Pacífico, se extraían recursos marinos y cultivos de los valles; al oriente, en la vertiente atlántica, se obtenía maíz, ají, hoja de coca entre otros alimentos (Lumbreras, 2013).

La máxima síntesis cultural de la civilización andina se dio durante el incanato. El Tawantinsuyu, fundado por Pachakuti a mediados del siglo XV, fue el imperio prehispánico más extenso a pesar de durar menos de cien años. El esplendor de la civilización se dio por políticas implementadas por los incas y su complejidad cultural. Una de las políticas más importantes fue la de la institución de los *mitmaq*. También conocidos como mitimaes que fueron grupos de personas que eran deportadas de sus lugares de origen hacia otras regiones obligados por el Estado incaico (Rostworowsky, 1999). Espinoza (2012) teoriza que las principales funciones de los *mitmaq* eran ser colonizadores y enseñar la cultura incaica a los pueblos conquistados, equilibrar la demografía y la densidad poblacional; y controlar enclaves ecológicos en territorio recientemente conquistado para aprovechar los recursos naturales.



Como se ha podido leer, la geografía y fisiografía del Perú no han sido obstáculos para los pueblos prehispánicos. A la llegada de los españoles, la cultura europea se mezcló con la nativa originando el mestizaje en la sociedad. El saber generado por la síntesis de ambas culturas observó y estudió la realidad. En consecuencia, las ciencias se fueron desarrollando. Así, los naturalistas peruanos dividieron y clasificaron a la geografía de diversas maneras. Un hecho que el presente estudio se dispone a detallar destacando las más importantes.

METODOLOGÍA

Para redactar el presente artículo, se recurrió a las principales fuentes de análisis de las clasificaciones de regiones naturales en el Perú. Estas fuentes bibliográficas, escritas por geógrafos, naturalistas y académicos han aportado conocimiento a la geografía peruana, de tal manera, que se sigue hablando de sus estudios hasta la actualidad.

CLASIFICACIÓN EN TRES REGIONES NATURALES

Francisco Pizarro y su séquito de españoles hicieron sucumbir al Tawantinsuyu en 1533, luego de condenar a muerte al inca Atawallpa. No obstante, la llamada Conquista del Perú no fue fácil, sencilla, ni rápida para los españoles porque se encontraban en un lugar desconocido, inhóspito y nunca visto por ojos europeos.

Dentro del séquito de Pizarro se encontraban cronistas que narraban los sucesos que observaban en la realidad. Los principales hechos reseñados por estos cronistas corresponden a una temática histórica, cultural, lingüística y, desde luego, geográfica, cuya descripción asombraba de sobremanera a los españoles.

Así pues, Sifuentes (1999) señala que la descripción de Pedro Cieza de León en su *Crónica del Perú* de 1553 sería la más valiosa para la clasificación geográfica del territorio peruano. En esta crónica, inspirada en la visión de la geografía ibérica, se divide al Perú en tres zonas bien definidas por su relieve. La Costa o llanos es el desierto plano y ondulado adyacente al mar; la Sierra es el territorio dominado por las montañas, abras y mesetas andinas; y la Selva o montaña el bosque tropical surcado por ríos caudalosos.

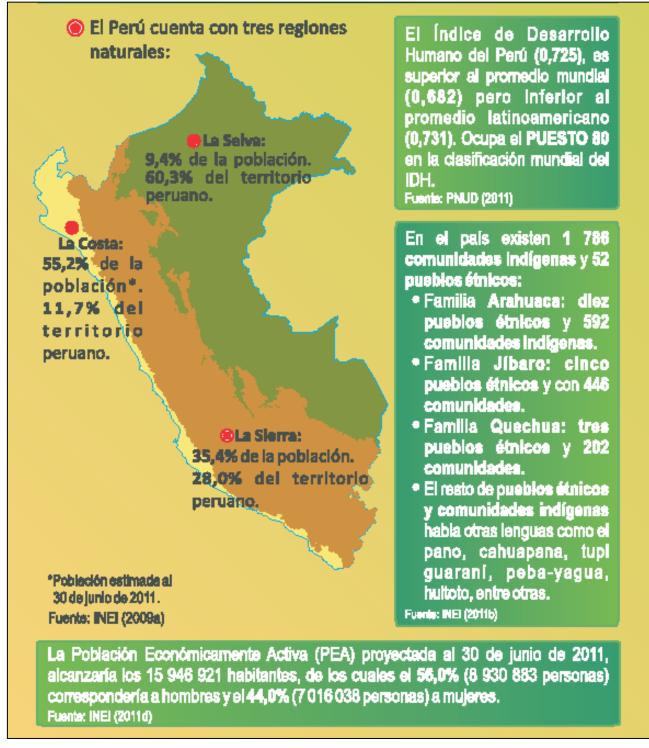
La división en tres regiones de Cieza de León y demás cronistas posteriores ocurre gracias a observaciones propias de los autores, impregnadas de su cultura eurocéntrica de la época. No se tuvo en cuenta el conocimiento geográfico de los habitantes locales, por lo que el saber aborigen fue reinterpretado con la visión de la realidad europea.

En consecuencia, los académicos de la geografía peruana sostienen que la división en tres regiones naturales atiende a criterios simplistas, vagos y con vicios de enfoque frente a la compleja geografía del país. No obstante, el historiador Raúl Porras Barrenechea (1962, como se citó en Tuesta, 2019) rescata la practicidad de esta regionalización para diferenciar la configuración del Perú.

Efectivamente, la practicidad de esta clasificación es tan evidente que incluso siglos después y hasta la actualidad se sigue utilizando. La gran mayoría de personas, medios de comunicación, algunas publicaciones educativas e inclusive documentos oficiales como los censos nacionales basan su información y datos considerando la división en tres regiones (Figura 1).



FIGURA 1.Afiche descriptivo elaborado por el Ministerio del Ambiente



Fuente: Adaptado de Sistema Nacional de Información Ambiental (2012). https://sinia.minam.gob.pe/novedades/perucifras-ambientales-2012.

Se pueden apreciar las tres regiones naturales del Perú.



En suma, se puede decir que la base de las clasificaciones de fisiografía del Perú son las tres regiones naturales de Costa, Sierra y Selva. A todo esto, hay quienes, tomando en cuenta esta clasificación, añaden regiones, según algunos criterios utilizados. Este es el caso del mar peruano, el cual algunos sugieren que es una región natural más mientras que otros consideran que es un factor de la región Costa. Otro caso particular es la Selva a la cual se le subdivide hasta en tres secciones. Esta subdivisión comprende a la Ceja de Selva que es la vertiente de pendientes sumamente abruptas y relieve muy accidentado colindante a los Andes; la Selva Alta que se ubica al concluir los cañones de la Ceja de Selva y constituye el fondo de valle de esta; y la Selva Baja, que es la llanura amazónica conformada por colinas, lechos y terrazas fluviales.

CLASIFICACIÓN EN OCHO REGIONES NATURALES

Antes de 1941, los textos sobre geografía del Perú reconocían a las tres regiones naturales. Sin embargo, muchos de esos textos describían paisajes diferenciados dentro de una misma región, tal como se expone en el párrafo anterior. Autores como Julio César Tello, José de la Riva-Agüero, Aurelio Miró Quesada Sosa o Pedro Paulet ya distinguían zonas claramente diferenciadas en la región de la Sierra, que iba desde las cálidas quebradas, los templados valles, las frías mesetas y los frígidos nevados. Eso sí, ninguno de ellos se dio a la labor de sistematizar este conocimiento.

El primero en organizar y dar a conocer una nueva clasificación de regiones naturales fue Javier Pulgar Vidal durante la III Asamblea General del Instituto Panamericano de Geografía e Historia en 1941. En la Figura 2 se aprecian las ocho regiones naturales, también denominadas regiones altitudinales que postula Pulgar Vidal: Chala (desierto que linda con el mar en la vertiente occidental andina, entre los 0 y 500 m.s.n.m.); Yunga (quebradas y valles cálidos que se ubican inmediatamente superior a la Chala, y también a los mismos paisajes en la vertiente oriental andina, entre los 500 y 2300 m.s.n.m. en el declive occidental y entre los 2300 y 1000 m.s.n.m. en el declive oriental); Quechua (áreas templadas en ambos lados del declive andino, entre los 2300 y 3500 m.s.n.m.); Suni o Jalca (tierras frías, entre los 3500 y 4000 m.s.n.m.); Puna (altiplanos y riscos muy fríos, entre los 4000 y 4800 m.s.n.m.); Janca (cumbres nevadas a más de 4800 m.s.n.m.); Rupa Rupa o Selva Alta (valles y montañas cubiertas de bosque tropical, entre los 1000 y 400 m.s.n.m.); y Omagua o Selva Baja (llanura amazónica donde surcan caudalosos ríos, entre los 400 y 80 m.s.n.m.).

Pulgar Vidal (2014) define a "una región natural como un área continua o discontinua en la que los factores del medio ambiente natural son comunes o similares y que, además, el ser humano participa activamente en la modificación del espacio" (p. 25). Así, Pulgar Vidal toma los siguientes criterios para su clasificación: altitud, relieve, clima, flora, fauna, folclore, toponimia, cultivos límite, actividad antrópica y paisaje. Se observa que solo los cinco primeros criterios son de carácter fisiográficonatural. Por tanto, se puede colegir que más que ocho regiones naturales donde únicamente se toma en cuenta criterios fisiográficos, la clasificación de Pulgar Vidal se refiere a ocho regiones geográficas que consideran tantos factores naturales como factores culturales.

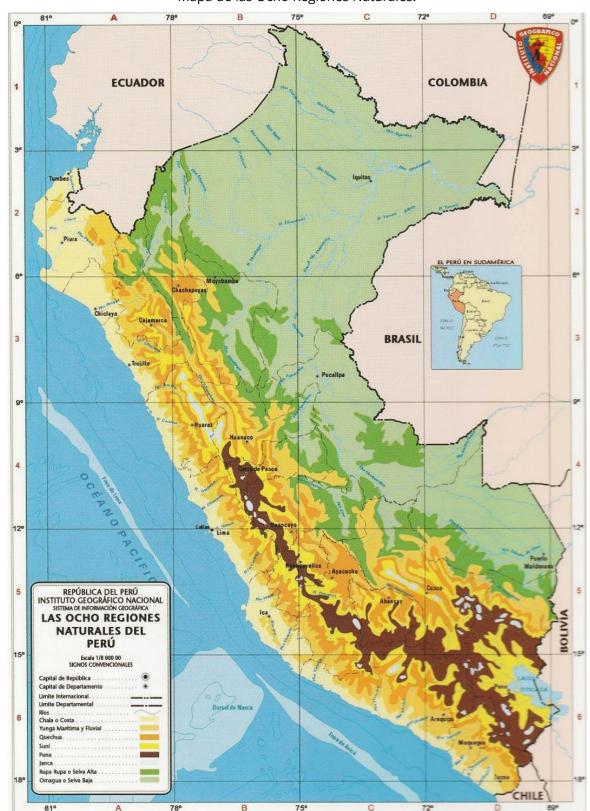


FIGURA 2.Mapa de las Ocho Regiones Naturales.

Fuente: Javier Pulgar Vidal. Instituto Geográfico Nacional.



Posteriormente, analizando que el antiguo peruano poseía una sabiduría ecológica tradicional, Pulgar Vidal multiplica sus 8 grandes regiones naturales. En un primer momento, llama *Lurin* a las zonas bajas, *Chaupi* a las áreas intermedias y *Hanan* a las partes altas, teniendo 24 zonas medianas. Luego, designa *Allauca* a las zonas iluminadas por el sol matutino y *Rancha* a las iluminadas por el sol vespertino consiguiendo así 48 zonas menores. Por último, denomina a la seca vertiente occidental andina como *Chaqui* y a la húmeda vertiente oriental como *Miqui*, de esta forma obtiene 96 zonas pequeñas (Pulgar Vidal, 2014).

A propósito, al tomar como base las ocho regiones naturales, Javier Pulgar Vidal formula una división política-administrativa del Perú. Las llamadas regiones transversales son sectores que parten desde el mar peruano hasta la Omagua y cruzan todas las regiones naturales de este a oeste y viceversa. Esta regionalización tiene el propósito de descentralizar el país al disponer de todos los recursos naturales de las ocho regiones a las poblaciones en el seno del territorio, para que alcanzar un desarrollo sostenido (Pulgar Vidal, 2014).

Con su obra, Pulgar Vidal se consagra como el impulsor de la moderna geografía en Perú. Así, en 1947 funda el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, además de ser elegido diputado de la República en 1945, ejerce la docencia en diversas universidades latinoamericanas y trabaja en instituciones estatales. Para la década de 1960, su tesis ya era aceptada por la comunidad geográfica del Perú al argumentar e integrar los factores naturales con los culturales (Córdova, 2011), además de que se acomodaba a la compleja realidad geográfica del país.

Sin embargo, no está exenta de críticas y objeciones. Sifuentes (1999) opina que la terminología geográfica utilizada por Pulgar Vidal no está acorde a la que se emplea por convención a nivel internacional. Antonio Brack (1986) también apunta imprecisiones tales como que la regionalización de Pulgar Vidal es de visión transversal y no considera variaciones latitudinales, y que los datos de flora y fauna no obedecen a información científica sino al folclore y tradiciones populares (Brack, 1986).

CLASIFICACIÓN EN ONCE ECORREGIONES

Antonio Brack reconoce que se han hecho varias regionalizaciones desde diversos enfoques como el clima, cuencas hidrográficas, regiones edáficas, flora, fauna y tradiciones locales (Brack, 2004). A partir de la crítica manifiesta que realiza con respecto a las Ocho Regiones de Pulgar Vidal, Brack se dispone a realizar una nueva clasificación de la geografía física del Perú.

En la Figura 3 se observan las once nuevas regiones naturales que Brack plantea: el Mar Frío de la corriente peruana (porción del océano influenciada por la corriente fría), el Mar Tropical (porción del océano influenciada por la corriente cálida), el Desierto del Pacífico (costa desde los 5° hasta los 27° latitud sur), el Bosque Seco Ecuatorial (faja costera hasta los 7° o 9° latitud sur), el Bosque Tropical del Pacífico (a lo largo de la costa del Pacífico desde el norte de Perú hasta Centroamérica), la Serranía Esteparia (flanco occidental andino desde los 7° latitud sur hasta el norte de Chile), la Puna y los Altos Andes (por encima de los 3500 m.s.n.m. desde el departamento de Cajamarca hasta Argentina y Chile), el Páramo (por encima de los 3500 m.s.n.m. desde el norte de Perú hasta Venezuela), la Selva Alta (flanco oriental andino), la Selva Baja o Bosque Tropical Amazónico (bosque amazónico por debajo de los 800 m.s.n.m.), y la Sabana de Palmeras (en las pampas del río Heath, departamento de Madre de Dios).

LAS **ECORREGIONES** COLOMBIA DEL PERÚ **ECUADOR** BRASIL Mar frío de la Corriente Peruana Mar tropical Desierto del Pacífico Bosque seco ecuatorial Bosque tropical del Pacífico

FIGURA 3Mapa de las Once Ecorregiones

Fuente: Mapa que muestra las ecorregiones. Antonio Brack.

Serranía estepária

Sabana de palmeras

Puna
Páramo
Selva alta
Selva baja



Las regiones naturales de Brack tienen un nombre especial: ecorregión. Brack la define como "un área geográfica caracterizada por condiciones homogéneas referidas al clima, suelos, hidrología, flora y fauna, además que estos factores son interdependientes" (Brack, 2004, p. 88). La obra de Brack está impregnada del enfoque ecológico y trabaja en conceptos tales como ecorregiones, econegocios, paraísos ecológicos, cambio climático, etc. Así, las once ecorregiones están planteadas para proponer estrategias de desarrollo y sostenibilidad a partir de una clasificación detallada (Radio Programas del Perú, 2014).

Las once ecorregiones teorizadas por Antonio Brack tienen un gran consenso entre los académicos de la ciencia geográfica peruana. Entre ellos, Sifuentes (1999) considera que es el análisis de regiones naturales más completo y de mayor rigurosidad científica, ya que considera que una ecorregión es un concepto más integral con la ecología, además que introduce términos de convención internacional tales como estepa, páramo o bosque (Sifuentes, 1999). A pesar del entusiasmo, Brack manifiesta en la presentación de su libro que su propuesta fue elaborada de forma sencilla y práctica para ser dirigida especialmente a profesores y a jóvenes estudiantes (Brack, 2004, p. 5).

A todo esto, con apoyo del Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF por sus siglas en inglés), el Centro de Datos para la Conservación de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina (CDC-UNALM), para analizar el recubrimiento ecológico del Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SINANPE), toma otra definición de ecorregión y desestima el concepto de Brack por "no representar endemismos en ciertas regiones, singularidades en los ensamblajes entre diferentes especies ni influencias de eventos geológicos en el origen de endemismos" (CDC-UNALM, 2006, p. 25).

De esta manera, para colaborar en el análisis de recubrimiento ecológico del SINANPE, el CDC-UNALM decidió trabajar con la definición de ecorregiones propuesta en 1995 por Dinerstein y colaboradores en su versión de 2005 (CDC-UNALM, 2006). Dinerstein *et al.* (1995) define a una ecorregión como "una unidad relativamente grande de tierra en donde se ensamblan comunidades y especies naturales diferentes, con límites que se aproximan a la extensión original de las comunidades naturales previa a los grandes cambios en el uso de la tierra" (como se citó en CDC-UNALM, 2006, p. 24). Esta definición ha sido aceptada en la mayoría de los países latinoamericanos como base biogeográfica y científica para identificar prioridades de conservación, con algunas modificaciones en la cartografía original (CDC-UNALM, 2006, p. 24). En consecuencia, el CDC-UNALM confirma que hay 21 ecorregiones para el Perú (Figura 4).

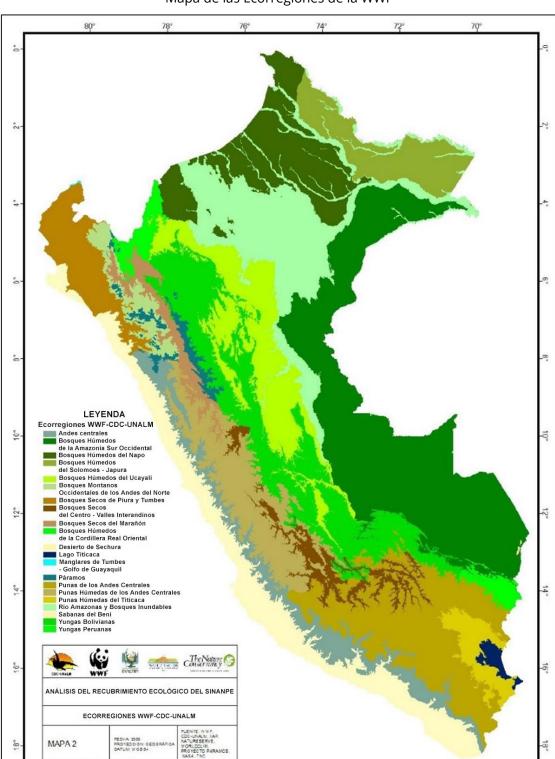


FIGURA 4Mapa de las Ecorregiones de la WWF

Fuente: Centro de Datos para la Conservación de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina (CDC-UNALM).

74°

72°

70°

80°



Como se dijo anteriormente, las 21 ecorregiones del CDC-UNALM son tomadas en cuenta por el SINANPE, el cual es un organismo adscrito al Ministerio del Ambiente peruano, para identificar procesos de conservación de la diversidad biológica del país. En cambio, las 11 ecorregiones de Antonio Brack son impartidas como cultura general a la población y enseñadas a jóvenes estudiantes en las aulas de educación básica como imagen de la compleja realidad geográfica del Perú, al igual que las 8 regiones geográficas de Pulgar Vidal y las 3 regiones naturales tradicionales.

CONCLUSIONES

Si bien es cierto que las regiones del mundo son geográficas, puesto que todas están bajo influencia antrópica, hablar de regiones naturales o fisiográficas es considerar al ambiente como una variable importante en nuestra realidad. Los cambios originados por actividades humanas que se experimentan en estas épocas modifican el clima, el relieve y la biodiversidad del ambiente. Por ello, se implementan políticas y medidas dedicadas a mitigar el cambio climático y la alteración del medio ambiente, favorables al desarrollo sostenible y apoyadas en base de datos e información tales como las clasificaciones y regionalizaciones vistas en los párrafos anteriores.

La geografía peruana aún no tiene un alto grado de desarrollo como ciencia. No obstante, los aportes en la división de regiones naturales tienen un gran alcance en la cultura general y especialmente en la educación básica. Estudiantes de nivel primario aprenden, inicialmente, a diferenciar las tres regiones clásicas para, luego, en el nivel secundario conocer las ocho regiones naturales y también, las once ecorregiones. Sin embargo, la didáctica con la que aprenden no es la adecuada y prácticamente se dedican a memorizar la descripción de cada región. Esto en buena parte se debe a que los colegios de educación básica preparan a los estudiantes para acceder a las universidades de educación superior. Y, son las universidades quienes en su examen de ingreso realizan preguntas de carácter memorístico al considerar a la geografía una materia meramente descriptiva y repetitiva, propia de décadas pasadas. Año tras año, los contenidos se van renovando, así como las formas de aprender.

La geografía se ha enriquecido en los últimos tiempos por los paradigmas críticos, analíticos y tecnológicos que surgen en el seno de la ciencia. Los temas que se enseñan a nivel básico y preuniversitario, así como en las pruebas de admisión a las universidades, se podrían renovar de acuerdo con los contenidos analíticos y críticos de la geografía. Estas nuevas temáticas serían muy útiles para los jóvenes estudiantes que se preparan no solo para su educación básica sino también para su futuro profesional y laboral.

Las clasificaciones de regiones naturales vistas en este trabajo son las que se consideran más importantes, pero no son las únicas. Existen también 104 Zonas de Vida de la Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (ONERN), las 10 regiones naturales de Carlos Peñaherrera, los 5 macrogeosistemas y 10 geosistemas regionales de Jorge Chancos, entre otras regionalizaciones. Estos aportes han servido para enriquecer a la geografía peruana y se puede seguir enriqueciendo aún más con las nuevas tecnologías y sistemas de información geográfica, las cuales son muy útiles y prácticas para representar procesos computarizados que servirán a la geografía para las próximas generaciones.



REFERENCIAS

- Brack, A. (1986). *Gran geografía del Perú* (Vol. 2). Lima. Manfer-Juan Mejía Baca.
- Brack, A. y Mendiola, C. (2004). Ecología del Perú (2.ª ed.). Lima. Bruño.
- Centro de Datos para la Conservación de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina (2006). *Análisis del Recubrimiento Ecológico del Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado*. Lima. The Nature Conservancy.
- Córdova Aguilar, H. (2011). El doctor Javier Samuel Pulgar Vidal y su aporte al conocimiento del Perú. Revista Geográfica, (150), 175-187. https://revistasipgh.org/index.php/regeo/article/view/536
- Espinoza, W. (2012). Los Incas. La Paz. Inkamaru.
- Kauffman, F. (1991). *Introducción al Perú Antiguo: Una nueva perspectiva*. Lima. Kompaktos.
- Lumbreras, G. (2013). Los orígenes de la civilización en el Perú. Cusco. Ministerio de Cultura.
- Pulgar Vidal, J. (2014). *Geografía del Perú: Las ocho regiones naturales* (12.ª ed.). Lima. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Radio Programas del Perú (31 de diciembre del 2014). Las 11 ecorregiones del Perú propuestas por Antonio Brack. https://rpp.pe/lima/actualidad/las-11-ecorregiones-del-peru-propuestas-por-antonio-brack-noticia-755679
- Rostworowski, M. (1999). *Historia del Tahuantinsuyu* (2.ª ed.). Lima. Instituto de Estudios Peruanos.
- Sifuentes, L. (1999). Las regiones geográficas del Perú: evolución de criterios para su clasificación. Revista Cantuta N° 15. http://peru.inka.free.fr/peru/pdf/reggp.pdf
- Strahler, A. (1989). Geografía física. Barcelona. Omega
- Tuesta, M. (2019). La Expo Didacta Clasificación Ecológica en el Perú y su influencia en el aprendizaje por competencias de los estudios universitarios [Tesis de maestría, Universidad San Martín de Porres].
 - https://repositorio.usmp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12727/4889/tuesta_vmf.pdf?sequence= 2&isAllowed=y







Amunas, práctica ancestral de siembra y cosecha de agua para la seguridad hídrica. caso: San Pedro de Casta

Cindy Cecilia Chavarría Castillo

RESUMEN

La presente investigación emplea el enfoque territorial para explicar los "otros" roles socioculturales, espaciales, económicos y ambientales que cumplen las *amunas* en la comunidad campesina de San Pedro de Casta, además de su conocido rol hídrico en la recarga artificial de acuíferos. Estos roles generan diversas dinámicas que involucran la participación de diversos actores políticos y sociales en la conservación y mantenimiento de las amunas, evidenciando así la vigencia que mantienen las prácticas ancestrales de siembra y cosecha de agua, sobre todo, en el contexto de cambio climático en el que vivimos y a pesar de la migración de la población más joven de la comunidad hacia la ciudad, en busca de nuevas oportunidades.

Asimismo, manifiesta la importancia de las amunas para la seguridad hídrica del territorio en el que se ubican y que se expande benéficamente hacia la ciudad. Esto muestra la paradoja de que el territorio que cuenta con los recursos naturales no siempre es el que obtiene los mayores beneficios pese a ser los principales gestores de su cuidado.

Este documento también busca dar a conocer que el estudio de las amunas trasciende una única disciplina científica y necesita ser abordada de manera integral. En ese sentido, la geografía realiza un gran aporte con la visión sistémica que la caracteriza y con la cual se explican las dinámicas que surgen entorno a las amunas.

PALABRAS CLAVE: amunas, recarga artificial de acuíferos, siembra y cosecha de agua, cambio climático y seguridad hídrica.

DATOS DE LA AUTORA

Geógrafa analista en demarcación y organización territorial con experiencia en manejo de Sistemas de Información Geográfica. Participante de diversos proyectos como la Zonificación Ecológica y Económica Comunal; facilitación de talleres, mapeo participativo y manejo de GPS con comuneros. Elaboración y análisis de estadísticas de concesiones mineras; georreferenciación de proyectos de inversión pública; capacitación en manejo de geoportales y sistematización de información obtenida a partir de drones.

chavarriacastillo@gmail.com

© Este artículo es de acceso abierto sujeto a la licencia Reconocimiento 4.0 Internacional de *Creative Commons*. No se permite un uso comercial de la obra original ni la generación de obras derivadas. Para más información, visite: *https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/*



ABSTRACT

This research uses the territorial approach to explain the "other" roles: socio-cultural, spatial, economic and environmental, that *amunas* achieve in the Peasant Community of San Pedro de Casta, besides its known hydric role in the artificial replenishment of aquifers. Roles which generate various dynamics and involucre the involvement of several actors in its conservation and maintenance, thus evidence the validity that maintain these ancestral practices of sowing and harvesting water, above all in the context of climate change that we are going through and despite the migration of the young population, from the community to the city, looking for new opportunities.

Moreover, it reveals the importance of *amunas* for water security not only in the territory they are in and that expands towards the city, showing the paradox that the territory which has natural resources is not always the one that obtains the greatest benefits from them, despite being the main managers in their care.

This document also seeks to make known that the study of amunas transcends a single scientific discipline and needs to be approached in an integral way, to which geography makes a great contribution with the systemic vision that characterizes it and with which the dynamics are explained the dynamics that arise around the amunas.

KEYWORDS: amunas, artificial replenishment of aquifers, sowing and harvesting of water, climate change and water security.

© This article is of open access to the public and subject to the Creative Commons Attribution Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License. The commercial use of this original work and the production of derived works from this article is not allowed. For more information, please visit: https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/



INTRODUCCIÓN

La Organización de las Naciones Unidas (2018, como se citó en Catholic Relief Services, 2019) estimó que en el mundo alrededor de 3,600 millones de personas vivían en zonas vulnerables al presentar escasez de agua y que esa cifra podría alcanzar los 5,700 millones para el año 2050. Dichas cifras muestran la necesidad de proteger a los recursos hídricos, sobre todo en el contexto de cambio climático, creciente demanda de agua a nivel mundial y disminución de la disponibilidad hídrica.

En ese sentido, las cuencas hidrográficas son las unidades protagonistas en las que se deberían realizar diversas intervenciones de protección, conservación y recuperación de recursos que brindan servicios ecosistémicos hídricos; ya que el agua que nace en las partes altas de las cuencas hidrográficas alimenta también a la parte baja. Por ejemplo, en el Perú el 95% de la población usa el agua que proviene de las zonas altoandinas (Unión Europea et al. 2017).

Por otro lado, los consumidores más grandes de agua son las ciudades. Lima Metropolitana es la segunda ciudad más grande del mundo (Galende, 2016) y en conjunto con el Callao suman una población de casi 10 millones de personas, según las cifras del censo nacional del Perú realizado en el año 2017, lo que significa el 30.6 % del total de la población nacional. Esto se traduce en una fuerte demanda de agua potable que se vuelve crítica por su ubicación en una zona desértica y depender considerablemente del agua que proviene de las cabeceras de cuencas de los ríos Chillón, Lurín, Rímac y Alto Mantaro que poseen un conjunto de ecosistemas que aportan de manera directa o indirecta en la cantidad de agua que es captada y destinada a satisfacer dicha demanda.

Los ecosistemas presentes en las cuencas hidrográficas se componen de bofedales, manantiales, glaciares, lagunas, etc. que aportan agua superficial y agua subterránea (esta última, muy poco visibilizada en cuanto a su importancia y participación en lo que se destina para el consumo humano). En el caso de Lima Metropolitana y el Callao, la población que se abastece de agua subterránea oscila entre el 15% y el 20% (Zuchetti et al., como se citó en Galende, 2016); por lo que es necesario que la población de la parte baja de las cuencas hidrográficas se concientice sobre la urgencia de tomar medidas de conservación en la parte alta y media.

En Lima, cuya población experimenta un déficit de agua de aproximadamente 43 millones de m³ durante la estación seca (Ochoa-Tocachi et al., 2019), han dejado de ser suficientes las intervenciones como construcciones de represas, canales, túneles, etc. que ayudan en la captación y distribución del agua, pero no consideran la conservación y protección del recurso en sí mismo, algo que se puede conseguir mediante las intervenciones "verdes" dentro de las que se encuentran las amunas que han mantenido su vigencia gracias a la organización de las comunidades de la parte media y alta de las cuencas de los ríos Chillón, Rímac, Lurín y Alto Mantaro. Una de estas comunidades es San Pedro de Casta donde los proyectos de infraestructura natural de AQUAFONDO que se desarrollan en su territorio estarían contribuyendo con más de 995 mil m³ de agua anuales¹.

Bajo este contexto, se torna urgente sumar estrategias que apunten a alcanzar una adecuada gestión de los recursos hídricos. Es así que, en el Perú antiguo se han realizado prácticas ancestrales para la buena gestión y uso del agua, tales como chacras hundidas, canales, andenes, waru waru, qochas y

¹ Agua que se usa para sus principales actividades económicas y aportan al caudal del río Santa Eulalia, principal afluente del río Rímac, fuente principal de agua para Lima Metropolitana.

https://www.facebook.com/aquafondo/photos/a.420304658010254/4203215406385808/>





amunas (Ancajima, 2013) que forman parte de un complejo sistema hidrológico y sociocultural en el que la organización comunal es clave para entender su funcionamiento.

En relación a las comunidades campesinas, cabe señalar que en el Perú existen 5,093 comunidades reconocidas y tituladas en la costa y la sierra (IBC y CEPES, 2016), lo que demuestra la representatividad que aún mantienen en el territorio nacional, su participación en temas de realidad nacional y su importancia en temas de contexto mundial como el cambio climático y la disponibilidad de recursos hídricos. En ese sentido, mucho antes de que las ONG o el Estado centren su atención en las técnicas ancestrales para la gestión del agua, las comunidades ya se estaban preocupando en conservar dichas técnicas y han ido aportando a la seguridad hídrica no solo de su territorio.

Por lo expuesto en los párrafos anteriores se denota que la interrelación entre los aspectos físicos y los aspectos sociales en el espacio geográfico es innegable y la influencia entre ambos genera dinámicas interesantes de observar, analizar e investigar. Al respecto, la presente investigación surge a partir del particular interés por los temas de la geografía social y tiene como objetivos analizar los roles que cumplen las amunas en la comunidad campesina de San Pedro de Casta, identificar a los diversos actores involucrados con la gestión y uso del recurso hídrico presentes en dicha comunidad y conocer la importancia de las amunas para la seguridad hídrica.

De esta manera, con el desarrollo de la investigación se espera contribuir a ampliar la perspectiva con la que se investiga a las amunas y pasar de la perspectiva meramente hidrológica a la perspectiva geográfica, evaluando otras dinámicas que se generan a partir de su existencia. Asimismo, se busca informar sobre la importancia de las amunas y la urgencia de conservarlas, haciendo énfasis no solo en su carácter físico, sino también en su carácter social y político.

I. METODOLOGÍA

La presente investigación emplea el enfoque territorial y sistémico, analizando la temática de manera integral y conectando cada aspecto de la misma.

Para el desarrollo de la investigación, en primer lugar, se realizó una fase de gabinete en el que se recopiló información de fuentes secundarias, revisión de fuentes bibliográficas e información estadística del ámbito de estudio que guarden relación con el tema de investigación. Asimismo, se elaboró cartografía preliminar y se preparó un bosquejo de las preguntas principales para obtener información en campo.

TABLA 1.Preguntas elaboradas para obtener información en campo

Preguntas elaboradas para las entrevistas

- 1. ¿Cuántos comuneros se encuentran empadronados actualmente?
- 2. ¿Cuántas amunas existen en la comunidad campesina?
- 3. ¿Podría mencionar los nombres de las amunas y cerca a qué localidades se encuentran?
- 4. ¿Cuál es el estado de las amunas?, ¿Algunas ya han sido recuperadas?
- 5. De los manantiales existentes en la comunidad, ¿cuáles se usan más?
- 6. ¿En qué mes del año realizan la limpieza de las amunas y cómo se organizan?
- 7. ¿Por qué medio se trasladan hasta las amunas?



Preguntas elaboradas para las entrevistas

- 8. ¿Reciben algún jornal por realizar el mantenimiento de las amunas?
- 9. ¿Qué instituciones se han encargado de recuperar dichas amunas y en qué años aproximadamente?
- 10. ¿En qué mes del año realizan la fiesta del agua o champería? ¿Solo participan los comuneros o también hay turistas?
- 11. ¿Cuáles son los usos más comunes que le dan al agua?
- 12. ¿Cómo se gestiona el agua para el riego de las áreas cultivadas?
- 13. ¿Cuál es el papel de la municipalidad y de la comunidad respecto a la gestión de agua?
- 14. ¿Los comuneros cuentan con agua potable?
- 15. ¿Qué entidad los provee de agua potable?
- 16. ¿De dónde proviene el agua que usa la comunidad para consumo humano?
- 17. ¿Tienen agua potable todo el día, todos los días?
- 18. ¿Tiene conocimiento si dicha agua potable es tratada?

Elaboración propia.

Como segundo paso, en una fase campo se visitó la comunidad campesina de San Pedro de Casta en el año 2018. Ahí se realizaron entrevistas a miembros activos de la comunidad, sobre todo a aquellos que han ejercido algún cargo dirigencial en la comunidad y son quienes conocen su territorio, las actividades que se realizan en torno al uso y gestión del agua y los principales actores involucrados en la recuperación y mantenimiento de las amunas. Un especial agradecimiento a los señores Gregorio Ríos y Eufronio Obispo. Posteriormente, en el año 2020 se realizaron otras entrevistas vía telefónica debido a la pandemia de COVID-19.

Esta fase de campo también incluyó el mapeo participativo para localizar las amunas dentro del territorio comunal y obtener información a partir de la observación. Como resultado del mapeo participativo se identificaron espacialmente algunas amunas que se muestran en el presente documento (Figura 1). Finalmente, la información recopilada en el trabajo de campo junto con la información recogida en la fase de gabinete fue analizada y el producto obtenido de dicho análisis se muestran en el ítem "Resultados" de la presente investigación, con base en esta información se han generado cuadros y mapas.

II. RESULTADOS

II.1. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

II.1.1. Ubicación

Una de las razones para elegir a la comunidad campesina de San Pedro de Casta como área de estudio es que esta forma parte del área priorizada por el Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima (SEDAPAL) para idear proyectos de inversión relacionados a los servicios ecosistémicos hídricos en el marco del cumplimiento de la Ley N°30215, Ley de Mecanismos de Retribución de Servicios Ecosistémicos. Asimismo, es una de las comunidades que forma parte de la cuenca del río Rímac, principal fuente de agua para Lima Metropolitana y el Callao, en cuyo territorio se encuentran



y conservan las amunas. Además, esta comunidad tiene una organización comunal fuerte con una cohesión e identidad cultural vigente.

San Pedro de Casta es una de las catorce comunidades campesinas del valle del río Santa Eulalia (INGEMMET, 2007), que limita por el norte con la comunidad campesina de Huachupampa; por el este con la comunidad de San Juan de Iris; por el sur, con la comunidad de San Mateo de Otao y con la comunidad de Chauca-Callahuanca y por el oeste, con la comunidad de Chaclla.

Mapa de ubicación a nivel de comunidades campesinas 325000 330000 335000 340000 UBICACIÓN A NIVEL UBICACIÓN A NIVEL Comunidad PROVINCIAL Campesina DEPARTAMENTAL de Mitma Comunidad Campesina de Quilcamachay PROVINCIA HUAROCHIR Comunidad Comunidad Campesina Campesina de Huachupampa Comunidad de Chaclla Campesina de San Juan de Iris Comunidad Campesina San Pedro de San Pedro de Casta De Casta Huinco Bado Comunidad Campesina San Antonio De Cumpe de San Mateo Comunidad Campesina de Otao de Chauca Callahuanca Viquil San Juan De Mayhuay MAPA DE UBICACIÓN A NIVEL DE COMUNIDADES CAMPESINAS LEYENDA Centros poblados Cindy Cecilia Chavarría Castillo ESCALA: 1:90,000 0.425 0.85 1.7 Sistema de Referencia: Área sin territorio comunal

FIGURA 1.Mapa de ubicación a nivel de comunidades campesinas

Elaboración propia.

A nivel político–administrativo, San Pedro de Casta se ubica en el distrito del mismo nombre, en la provincia de Huarochirí perteneciente al departamento de Lima, ubicada a 80 km de la ciudad de Lima con buenas condiciones de accesibilidad (tiene una red vial asfaltada de Lima a Chosica y vía

DATUM WGS 84, Proyection UTM, Zona 188 330000



afirmada de Chosica a San Pedro de Casta). Limita por el norte con el distrito de Huachupampa; por el este, con el distrito de San Juan de Iris; por el sur con Callahuanca y por el oeste con los distritos de San Antonio y Santa Eulalia.

A nivel hidrográfico, la comunidad campesina comprende la microcuenca del río Carhuayumac, que toma el nombre de Chanicocha aguas arriba, ocupando casi la totalidad del territorio comunal. En su territorio también se encuentran una intercuenca y otras microcuencas conformadas por la quebrada Negro, la quebrada San Antonio y otras quebradas sin nombre que ocupan un área menor de la comunidad. Estas microcuencas pertenecen a la subcuenca del río Santa Eulalia, que a su vez es parte de la cuenca del río Rímac.

II.1.2. Amunas

El término "amuna" tiene un origen quechua cuyo significado es "retener". Las amunas son sistemas ancestrales de siembra y cosecha de agua para la recarga artificial de acuíferos y que en la actualidad forman parte de la cotidianeidad de algunas comunidades campesinas (IICA, 2015).

El sistema de funcionamiento de las amunas inicia con la captación de agua en los ríos o en quebradas en épocas de lluvias, prosigue con el transporte del agua por su canal hasta zonas con suelos permeables que permiten la filtración del agua hacia los acuíferos y acuitardos para que meses después, en épocas de estiaje, aflore por los manantiales que también son conocidos como puquiales. De esta manera, se prolonga la disponibilidad del agua en estas temporadas secas para los diversos usos de la población.

Las amunas coexisten con infraestructuras "grises", entendidas como instalaciones que no son de origen natural o no están relacionados con mantener el equilibrio del ecosistema, tales como presas, bocatomas, centrales hidroeléctricas, etc. (Figura 2). Todas estas infraestructuras están relacionadas con la captación y aprovechamiento del recurso, pero, no con su conservación.

Las amunas son conocidas principalmente por su importancia para la recarga artificial de acuíferos. Sin embargo, su papel trasciende lo hidrológico y comprende aspectos socioculturales, espaciales, económicos y ambientales que contribuyen a la seguridad hídrica. Según la información registrada en las entrevistas, la comunidad campesina de San Pedro de Casta tiene 9 amunas distribuidas en toda la microcuenca de Carhuayumac, de las cuales 5 han sido recuperadas gracias al apoyo de varias organizaciones como el Fondo de Agua para Lima (AQUAFONDO), el Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina (CONDESAN), The Nature Conservancy (TNC), entre otros. Hay otras cuatro amunas que están en proyecto de ser recuperadas, a continuación, se muestra un cuadro con las amunas presentes en la comunidad y su estado.



TABLA 2.Amunas en la comunidad campesina de San Pedro de Casta

N°	Nombre de la amuna	Estado
1	Sayhuapata - Putaga	Recuperado
2	Mula Muerta – Cailliachin	Recuperado
3	Laguna Pistancia	Recuperado
4	Chucuni – Chucuwasi	Recuperado
5	Horno-Tambo	Recuperado parcialmente (sector Senega – Chinchaicocho)
6	Punabarca – Chacala	Por recuperar
7	Huatliaco – Achin	Por recuperar
8	Yanachuichi – Pampachaca	Por recuperar
9	Chuchuiwaisa	Por recuperar

Nota. Esta tabla muestra el estado de las amunas. Esta información se obtuvo a partir de entrevistas a los comuneros de San Pedro de Casta. Elaboración propia.

Esta investigación utilizó el mapeo participativo en campo y realizó el análisis de imágenes satelitales. Todo esto permitió identificar espacialmente 4 de las 9 amunas: Mula Muerta – Cailliachin, Sayhuapata – Putaga, Laguna Pistancia y Horno – Tambo (2 de sus sectores Senega – Tambo y Senega - Carhuayumac). Las 5 amunas restantes no han podido ser identificadas mediante imágenes satelitales para obtener el detalle de su sinuosidad y su longitud (Figura 2).

La amuna más extensa es la de Horno-Tambo con más de 9 km. Su recuperación ha sido parcial en el sector Senega- Chinchaicocho, respecto a esta amuna cabe señalar que debido a su extensión es conocida por sectores como Senega – Tambo, Senega – Chinchaicocho, Senega – Carhuayumac.

II.1.2. Caracterización del medio físico

A nivel geológico, la comunidad campesina presenta rocas cuyas edades están entre el jurásico al cuaternario, predominando rocas volcánicas – sedimentarias en su territorio. Según la información extraída del GEOCATMIN² hay 8 unidades geológicas identificadas como depósitos aluviales, depósitos fluvioglaciares, familia Arahuay, familia Huarochirí, familia Millotingo, grupo Rímac, Volcánico Neógeno y la super unidad Paccho. Las amunas identificadas se ubican en 3 de las 8 unidades señaladas tales como grupo Rímac, familia Millotingo y depósitos Fluvioglaciares.

A nivel hidrogeológico, San Pedro de Casta tiene como río principal al río Carhuayumac que desemboca en el río Santa Eulalia, alcanzando un caudal promedio anual de 0.45 m3/s (SENAMHI,

²Ver geoportal del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET) en: https://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/



2016). Este río presenta una serie de quebradas afluentes como Huitama, Yanapaccha, Sucuni, Shaco, Mantoclla y otras quebradas sin nombres, también presenta lagunas como Chanicocha y Huitama.

Por otro lado, según se visualiza en el portal de GEOCATMIN y de GEOHIDRO³, en la comunidad campesina se localizan 8 manantiales: Chanicocha, Tingo, Cunya, Madrecunya, Putaga, Lagunapaestancia, Marcahuasi 1 y Marcahuasi 2. En la Figura 3, podemos observar la localización de estos manantiales. Además, en la Tabla 3 se pueden apreciar los datos del caudal, Ph y temperatura de cada manantial.

TABLA 3.Manantiales en la Comunidad Campesina San Pedro de Casta

N°	Nombre	Caudal (Q)	Tipo de fuente	Ph	T°	Coordenada UTM Este	Coordenada UTM Norte
1	Chanicocha	5 m3/s	Manantial	8.55	7.5	338 783	8 700 533
2	Tingo	1 m3/s	Manantial	7.65	7.8	338 951	8 700 010
3	Cunya	3 m3/s	Manantial	7.62	10	336 061	8 699 427
4	Madrecunya	8 m3/s	Manantial	7.56	9.2	335 895	8 699 402
5	Putaga	1 m3/s	Manantial Captado	7.73	11.8	332 655	8 698 539
6	Lagunapaestancia	1 m3/s	Manantial	7.08	10.8	334 379	8 698 000
7	Marcahuasi 2	0.5 m3/s	Manantial	7.57	14.6	329 177	8 697 669
8	Marcahuasi 1	1 m3/s	Manantial	7.17	14	328 754	8 697 512

Nota. Esta tabla muestra la localización aproximada ya que la data de manantiales de GEOCATMIN y GEOHIDRO no es descargable. La localización se realizó mediante método comparativo de imágenes satelitales.

Respecto a las unidades hidrogeológicas, en la Figura 2 se observa que la comunidad campesina presenta aproximadamente el 65% de su territorio con acuíferos locales.

En relación con los acuíferos, las amunas se ubican principalmente en acuíferos fisurados volcánicosedimentarios que corresponden a reservorios de agua subterránea ubicados en las fisuras de rocas volcánicas y sedimentarias que permiten una permeabilidad moderada. También se ubican en acuitardos volcánicos que corresponden a rocas volcánicas impermeables procedentes generalmente de erupciones explosivas.

En el área donde se ubican las amunas estos acuíferos locales presentan arcillas, limonitas, areniscas, tobas y andesitas.

³ Ver geoportal de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) en: https://geo.ana.gob.pe/geohidro/



325000 Acuíferos locales con andesitas y tobas, areniscas, limolitas, arcillas. Acuíferos locales con lutitas, margas y DIST. HUACHUPAMPA Formaciones generalmente sin acuíferos con rocas intrusivas ácidas e intermedias Mula muerta Cailliachin DIST SAN DIST. SAN JUAN DE IRIS ANTONIO Senega Carhuayumac Chanicocha ₽ SAN PEDRO Madrecunya Cunya Tingo DE CASTA Presa Huinc Putaga Marcahuasi 2 Lagunapaestancia Marcahuasi -SANTA EULALIA LEYENDA Laguna Bocatoma Sayhuapata Pistancia Presa Putaga Central Hidroeléctrica DIST. δ Manantial DIST SAN MATEO Senega Manantial Captado DE OTAO Tambo Laguna Río Quebrada DIST. CALLAHUANCA MAPA DE INFRAESTRUCTURA HÍDRICA Red vial E HIDROGEOLOGÍA EN SAN PEDRO DE CASTA Amuna GEOCATMIN Límite distrital Cindy Cecilia Chavarría Castillo Mapeo partic ESCALA: 1:90,000 330000 335000

FIGURA 2Mapa de infraestructura hídrica e hidrogeología

Elaboración propia.

Geomorfológicamente, el territorio de la comunidad campesina presenta estribaciones andinas que ocupan casi la totalidad de dicha zona, también hay un área del borde oeste de la Cordillera Occidental y valle con depósitos aluviales.

Asimismo, la comunidad campesina se ubica entre los 1,500 a 4,800 m.s.n.m. de altitud (Gelles, 1984). Según la clasificación de las 8 regiones de Pulgar Vidal (1987), en San Pedro de Casta hay 4 regiones: Yunga, Quechua, Suni y Puna, siendo esta última la que ocupa una mayor extensión, 45% del territorio comunal aproximadamente (Barriga, 2018). El hecho que la comunidad se encuentre en diversos pisos ecológicos permite la existencia de una variedad de coberturas de vegetación. De



manera general, en el territorio comunal existen pajonales altoandinos en la cabecera la microcuenca Carhuayumac, en la parte media y baja hay matorrales arbustivos y en un sector próximo a la población se encuentra la zona agrícola.

Respecto a las precipitaciones, en la microcuenca de Carhuayumac, la cual se inscribe en la comunidad campesina, la precipitación anual promedio es de 316.1 mm (SENAMHI, 2016). Los meses de abril a setiembre se caracterizan por ser secos, este período es el que se conoce como época de estiaje. A fines del mes de octubre se inicia la temporada de lluvias. Los meses de mayor intensidad son de enero a marzo, este período se considera como la época de avenida. Cabe señalar que estas condiciones pueden variar de año en año, tanto en frecuencia como en intensidad.

II.1.4. Caracterización del medio social

Según el censo nacional del 2017⁴, el distrito de San Pedro de Casta tiene 928 habitantes, presenta una tasa intercensal negativa de -2.5% aproximadamente respecto a las cifras registradas en el censo del año 2007, tal como se muestra en la Tabla 4. Este decrecimiento se debe a la migración de la población, especialmente de los jóvenes, hacia la ciudad de Lima.

TABLA 4.Población del distrito de San Pedro de Casta

	Censo 1993	Censo 2007	Censo 2017
Población	1184 hab.	1195 hab.	928 hab.
Tasa de Crecimiento	0.04	-2.5%	

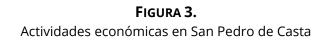
Fuente: Base de datos CPV INEI - Censos Nacionales 2017: XI de Población y VI de Vivienda.

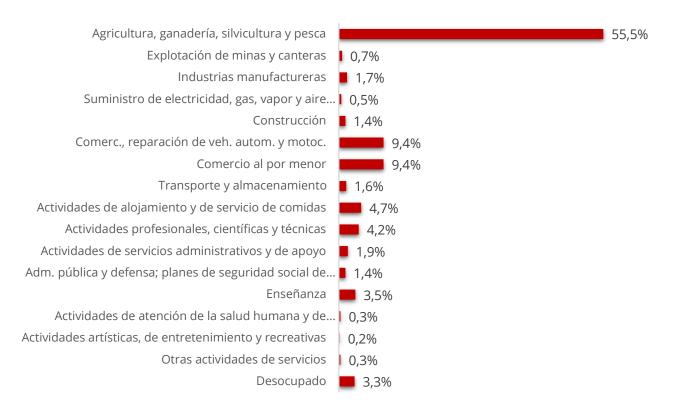
En cuanto al total de la población del distrito, 275 son comuneros calificados que participan activamente en la comunidad campesina. De acuerdo a la tradición de la comunidad, el varón es quien representa a la familia y ocupa cargos dirigenciales y no la mujer. Sin embargo, en la nueva directiva de la comunidad a partir del año 2020, una mujer de la comunidad es quien preside el Comité de Riego.

Según el Censo Nacional del 2017, la Población Económicamente Activa (PEA) en el distrito de San Pedro de Casta es de 67.4 % y la principal actividad económica a la que esta población se dedica es la agricultura y la ganadería en un 55.5%, tal como se muestra en la Figura 3; en segundo lugar, al comercio al por menor en 9.45 % y le siguen otras actividades en menor porcentaje.

⁴ Ver datos en: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1541/index.htm







Fuente: Censos Nacionales 2017, XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas. INEI.

Las entrevistas realizadas permitieron obtener información respecto a las actividades económicas en las que los comuneros de San Pedro de Casta están directamente involucrados. Los principales productos agrícolas que se producen y comercializan son la papa, maíz, oca, entre otros. Asimismo, otro ingreso que obtienen proviene de la venta de sus animales o de los productos derivados de los lácteos, principalmente, el queso. Cabe señalar que, según la clasificación de uso mayor de tierras, casi todo el territorio comunal tiene aptitud para los cultivos en limpio y para el pastoreo, sin embargo, en la práctica la mayor extensión de la comunidad es tierra que no se usa con fines agrícolas, sino que es empleada para el aprovechamiento de pastos naturales.

Para el riego de las tierras agrícolas se pone en funcionamiento la organización comunal. Hay un comité de riego formado por 5 integrantes que son responsables de cumplir los turnos de riegos, el cuidado de los canales de riego y de velar por el mantenimiento de infraestructuras ancestrales como las amunas. De la misma manera, existe un comité de ganados que realiza la actividad de juntado de animales vacunos en el mes de abril, cruce de animales y la seña de vacuno en el mes de noviembre.

La forma de propiedad de la tierra en San Pedro de Casta es lo que se denominan chacras comunales o potreros comunales que son parcelas ubicadas en zonas irrigadas o de secano y tienen diversos usos, de acuerdo a las prácticas locales. Las chacras comunales pueden ser usufructuadas directamente por la misma comunidad o pueden ser explotadas a través de terceros por una cantidad que determina la asamblea comunal con ganancias para toda la comunidad (INGEMMET, 2007).



II.2. ACTORES INVOLUCRADOS EN LA CONSERVACIÓN DE LAS AMUNAS

El principal actor involucrado en la conservación de las amunas es la comunidad campesina de San Pedro de Casta. Esta comunidad, se rige por el sistema de organización social prehispánico, es decir, el ayllu, también mantienen prácticas ancestrales de reciprocidad (minka) e intercambio (ayni), y conservan la unidad familiar como base de producción y consumo (INGEMMET, 2007).

La comunidad campesina ejerce un papel histórico y preponderante en la gestión del recurso hídrico y unas de las participaciones más importantes está relacionada con el mantenimiento de las amunas. Para esta tarea se organizan y realizan la limpieza de los canales naturales. Generalmente, son los varones quienes se dedican a esta labor y la participación de la mujer está muchas veces reducida a la provisión de alimentos, debido a que la limpieza de las amunas es una labor que exige un alto esfuerzo físico. Por otro lado, una de las fortalezas de la comunidad es que actualmente cuenta con comuneros sensibilizados con los efectos del cambio climático, lo cual favorece la apertura de proyectos de regulación hídrica en su territorio.

Otro actor importante en la conservación de las amunas son las Organizaciones No Gubernamentales (ONG). Estas instituciones han mostrado mucho interés en el tema de las amunas, después de la comunidad, y están realizando desde hace algunas décadas proyectos de inversión para la recuperación de la infraestructura ancestral en la comunidad de San Pedro de Casta.

Las ONG que mayor actuación han tenido son AQUAFONDO, CONDESAN, Forest Trend y TNC, que no solo han desarrollado proyectos de recuperación de amunas, sino que también han incluido talleres para el fortalecimiento de capacidades de los comuneros.

La paradoja en este recuento es que fueron las ONG las que visualizaron primero la gran importancia de las amunas y actuaron protegiéndolas antes que el Estado, el cual hace poco ha estipulado un marco normativo que se está implementando aún de forma incipiente. Resulta un tanto desalentador inferir que la motivación no es la preocupación por los ecosistemas, la comunidad o el cambio climático, sino porque la metrópoli de Lima se está quedando sin agua y se ha tomado conciencia de que las acciones no solo deben estar enfocadas en la construcción de infraestructura gris para captar, contener y trasportar el agua, sino que existe un componente esencial y es el recurso natural.

Un tercer actor es el Estado, con un papel incipiente, pero importante dentro de las políticas públicas que se puedan establecer para la conservación de las amunas. A continuación, detallamos la participación del Estado en sus diferentes niveles:

 SEDAPAL. Desde el año 2014, el Perú cuenta con una ley que promueve la implementación de mecanismos de retribución por servicios ecosistémicos, La Ley N° 30215es el marco jurídico sobre el que se puede elaborar modelos de retribución o compensación por los servicios ecosistémicos.

En el caso del sector agua y saneamiento, desde el año 2015 se están construyendo mecanismos de financiamiento de proyectos de infraestructura natural para recuperar o conservar los servicios ecosistémicos hídricos en las cuencas abastecedoras de agua potable a través de un porcentaje incluido en la tarifa de agua que pagamos los consumidores. En el caso de Lima Metropolitana y el Callao, la entidad encargada de implementar los Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos (MERESE) es SEDAPAL, pero, a nivel nacional las cincuenta empresas



prestadoras de servicios de agua y saneamiento en el Perú tienen la responsabilidad de implementar dichos mecanismos.

 SUNASS. El porcentaje de la tarifa destinada para la retribución por servicios ecosistémicos que indica la Ley N° 30215 es calculada por la empresa de agua, en el caso de Lima Metropolitana y el Callao es SEDAPAL que luego es autorizada por el organismo regulador, es decir, la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS).

Para Lima Metropolitana y el Callao, la tarifa que se ha calculado para los proyectos ecosistémicos es el 1% para el quinquenio 2015 – 2021. Para una ciudad con tantos habitantes estamos hablando de un promedio de un millón trescientos mil soles de recaudación por mes para los proyectos de servicios ecosistémicos (contempla la recuperación de amunas).

La SUNASS ha promovido y de alguna manera ha exigido a las empresas de agua del país a definir su porcentaje de la tarifa para crear fondos especiales para los MERESE. Actualmente, más del 80% de las empresas del país cuentan con tarifas establecidas para este fin.

- Municipalidad distrital. La municipalidad distrital de San Pedro de Casta comparte responsabilidad en la gestión del agua con la comunidad campesina. La comunidad se encarga del agua para riego y la municipalidad ve los asuntos del agua potable, sin embargo, no existe integración entre ambos para fines de preservar las obras hidráulicas. A pesar de ello, en los últimos años la municipalidad ha mostrado interés y predisposición por apoyar y brindar todas las facilidades al proyecto de servicios ecosistémicos de regulación hídrica.
- **Otras entidades del Estado**. Existen otras entidades del estado que se han involucrado de alguna manera con la siembra y cosecha de agua, tales como Sierra Azul del Ministerio de Agricultura.

II.3. GESTIÓN Y USO DEL AGUA

Los principales usos que se da al agua en la comunidad campesina de San Pedro de Casta son para el consumo humano y para sus principales actividades económicas de agricultura y ganadería. En ese sentido, el recurso hídrico toma un papel protagónico y todas las acciones que lleven a su conservación son muy importantes no solo para el recurso mismo, sino para la población y su desarrollo local.

Respecto al uso del agua para riego, la comunidad campesina cuenta con una junta de regantes que se encarga de distribuir equitativamente dicho recurso para todos los comuneros que lo requieran. El alcalde y las autoridades municipales se encargan de la administración del agua potable.

II.4. VENTAJAS COMPARATIVAS PARA LAS AMUNAS

La presencia de las amunas hasta la actualidad es gracias a un conjunto de ventajas comparativas que ofrece el territorio de la comunidad campesina, ventajas relacionadas a aspectos físicos y a aspectos sociales que convergen e incrementan su posibilidad de permanencia.

San Pedro de Casta presenta en casi todo su territorio un relieve de pendientes moderadamente empinadas. Esta característica ayuda a que las amunas tengan la inclinación perfecta para que el agua captada transcurra por el canal natural a la velocidad necesaria para llegar a tiempo a la zona



de suelos permeables, filtrarse y formar parte del agua subterránea de los acuíferos existentes, agua que meses después aflorará por los manantiales.



FIGURA 4Pendiente moderadamente empinada en una amuna

Fuente: Fotografía propia.

Otra característica es importante para que todo el sistema hidráulico de las amunas funcione correctamente es la existencia de suelos permeables que presenten rocas con fracturas y diaclasas. Esto permite que el agua luego de terminar su recorrido por el canal natural pueda filtrar por el suelo y llegar al acuífero.

El hecho de ser parte de la cuenca del río Rímac representa una ventaja comparativa, ya que el río Rímac es el principal río que aporta para el agua que se destina al consumo humano en Lima Metropolitana y el Callao. Esto hace que muchos actores se interesen por su estudio, pero también por idear proyectos de inversión que promuevan su conservación como las ONG, el Consejo de Cuenca del CHIRILU (ríos Chillón, Rímac, Lurín), universidades como la Universidad de Ingeniería y Tecnología (UTEC), entre otros, que apuestan por realizar proyectos que ayuden a conservar el



recurso hídrico. De esta forma, la comunidad campesina de San Pedro de Casta es objeto de análisis y en su territorio se formulan proyectos para conservar ecosistemas y recuperar infraestructuras ancestrales como las amunas que aguas abajo mantienen la disponibilidad hídrica en la ciudad.

Como se ha mencionado en la presente investigación, la vigencia de las comunidades campesinas, al igual que sus costumbres y tradiciones han significado en gran parte que las amunas se conserven hasta el día de hoy. A esto se suma, la presencia de organizaciones que capacitan e incentivan la preocupación por conservar las amunas y los servicios ecosistémicos hídricos. Asimismo, la Ley de Mecanismo de Retribución de Servicios Ecosistémicos y su reglamento correspondiente ha insertado la preocupación de proteger, conservar y mantener este tipo de infraestructura hídrica algo que es una apuesta certera para la conservación de los recursos hídricos.

II.5. RIESGOS PARA LAS AMUNAS

Así como existen ventajas comparativas que favorecen la presencia de las amunas, también existen condiciones a las que las amunas se exponen y que ponen en riesgo su permanencia. Por un lado, tenemos a la población de la comunidad que está envejeciendo, los jóvenes migran hacia Lima en búsqueda de mejores oportunidades, olvidando sus costumbres y sus responsabilidades comunales. El riesgo de que la cohesión comunal disminuya pone en peligro la conservación y protección de las amunas.

Por otro lado, la comunidad es productora de quesos y poseen gran cantidad de ganado vacuno, los cuales son alimentados cerca de las áreas de bofedales, causes de quebradas y manantiales, ejerciendo un sobrepastoreo. La práctica del pastoreo rotativo no está muy incentivada, aunque existen proyectos de construcción de cercas para promover dicha práctica.

El sobrepastoreo en ciertas zonas contamina el agua superficial por las heces del ganado, los cuales al pisar constantemente la vegetación hacen que dicha contaminación se profundice y pone en riesgo una de las funciones de las amunas y de los bofedales que es filtrar el agua que llega a los acuíferos. Esto, puede llegar a perjudicar la calidad del agua que aflora en los manantiales.

Asimismo, la intensidad y frecuencia de las lluvias está variando por lo que la cantidad de agua captada por las amunas puede verse alterada. De esta manera, varía también la cantidad que llega a los manantiales y por ende, el agua que se usa en las diversas actividades de los comuneros. Si la vegetación se reduce y las lluvias aumentan es probable que el suelo se erosione más y colmate los canales naturales de las amunas, requiriendo ser limpiadas con más frecuencia, ya que de lo contrario se dificulta que el agua sea conducida por dichos canales hasta los suelos permeables.

En relación con la accesibilidad, existen vías departamentales y vecinales en la comunidad campesina, pero no en las proximidades de las amunas. Si no existen vías que conecten fácilmente a la población con las amunas es más difícil realizar el trayecto para su mantenimiento. La población que está envejeciendo no tendría las fuerzas para realizar todo el recorrido cargando las herramientas para la limpieza de las amunas.

Finalmente, existe aún poca inversión efectiva del Estado como parte de la implementación de los MERESE que debe contemplar la investigación y el mantenimiento de las amunas, así como el fortalecimiento de capacidades de la población. De lo contrario, los proyectos que se realicen probablemente, a largo plazo, terminen siendo un intento fallido para mantener la disponibilidad hídrica.



II.6. ROLES DE LAS AMUNAS EN LA COMUNIDAD CAMPESINA SAN PEDRO DE CASTA

Rol hidrológico. La escasa o ausente disponibilidad de agua en ciertas épocas del año no es un tema ajeno a la realidad de muchas poblaciones. En base al conocimiento del ciclo hidrológico del agua nuestros ancestros idearon un sistema de siembra y cosecha de agua para contrarrestar los efectos de las épocas de estiaje. Este sistema fue denominado amunas y consiste en captar el agua producida por las lluvias. Por ello, tal como se observa en la Figura 5 vamos a encontrar amunas cuyo recorrido inicia en el cauce de una quebrada.

El rol hidrológico que cumplen las amunas es captar el agua superficial y conducirla hasta las zonas de fracturas y suelos permeables. El agua recorre dichas zonas y aflora meses después en los manantiales, como se observa en la Figura 6, abasteciendo de agua a la comunidad de San Pedro de Casta en las épocas de estiaje.



FIGURA 5. Amuna ubicada en el sector Senega -Tambo

Fuente: Fotografía propia.





FIGURA 6.Afloramiento del agua por un manantial

Nota. Fotografía propia.

Es importante mencionar que en el trabajo de investigación de Ochoa-Tocachi et al. (2019) se estimó que los sistemas de infiltración podrían desviar e infiltrar aproximadamente el 35% del caudal de la estación de lluvias de toda la cuenca del Rímac (198 millones de m³ de agua al año). Esto permitiría recuperar aguas abajo un caudal de 99 millones de m³ anuales, lo que incrementaría en un 7.5% en promedio el volumen de agua durante la estación seca de la cuenca y hasta un 33% durante los primeros meses secos. Por ello, las amunas en conjunto con todos los sistemas de infiltración cumplen un rol hidrológico muy esencial para la seguridad hídrica de toda la cuenca.

Rol sociocultural. Como parte de las actividades de la comunidad, cada año en el mes de octubre se realiza la Yakufiesta, conocida también como Champería, fiesta que forma parte de su calendario festivo y en el que los comuneros organizados se dirigen a las amunas para limpiarlas y realizar un pago a la tierra como agradecimiento por el agua recibida. Esta fecha coincide con la llegada de las lluvias, la comunidad se organiza en cuatro paradas y cada grupo establece quienes serán sus funcionarios (directiva), sus mayordomos (funcionarios para el próximo año) y sus acompañantes (mayorales, jugadores, músicos, comuneros, etc.) (INGEMMET, 2007).

Los ritos y fiestas reproducen las ideas y creencias, usos y costumbres, derechos y responsabilidades que alimentan una identidad local que cohesiona y moviliza a los comuneros y comuneras alrededor



de esta práctica ancestral. De esta manera, se afianza la cohesión cultural de los comuneros y se mantiene vigente la idea de comunidad que en muchas partes se ha perdido.

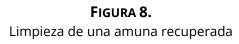
Por otro lado, la fiesta del agua también promueve, aunque de manera muy incipiente aún, el turismo. En esta época, los visitantes de comunidades vecinas y turistas participan voluntariamente en las diferentes actividades que se programan.

FIGURA 7. Limpieza de una amuna no recuperada



Fuente: Fotografía propia.







Fuente: Fotografía propia.

Rol espacial. Las amunas están distribuidas de manera dispersa en el territorio comunal y con base en dicha localización es que la población ha establecido sus áreas agrícolas o ganaderas, es decir, cerca de las zonas con mayor humedad como quebradas, ríos, manantiales y presencia de vegetación como los bofedales, matorrales y pastizales. Para poder dirigirse a las amunas, los comuneros han habilitado caminos de trochas para poder realizar la limpieza de las amunas y la fiesta del agua, generando redes donde cada cierto tiempo transita un flujo sociocultural.

Por otro lado, la fuerte dependencia del agua que tiene la comunidad para realizar diferentes actividades ha promovido que existan infraestructuras para captar el agua que consumen como potable. Este es el caso del manantial Putaga, desde donde conducen el agua hacia el poblado, y el caso del manantial Cunya, el cual tiene agua permanente y es el que usan para el riego de sus áreas agrícolas. Esto demuestra que la población ha ido configurando su territorio basándose en la localización y disponibilidad de los recursos hídricos.

La existencia de las amunas junto a los ecosistemas relacionados a los recursos hídricos como los bofedales y otros, permiten que la humedad en el suelo se mantenga existiendo vegetación en sus proximidades y configurando un paisaje con vegetación de matorral y pajonal altoandino.

Rol ambiental. Las amunas evitan que el excedente de agua en las épocas de lluvias cause inundaciones, ya que captan dicho excedente y lo conducen a zonas permeables para ser aprovechadas posteriormente en épocas de estiaje, es decir, cumple una función reguladora. Por



otro lado, a medida que el agua sigue su recorrido por la amuna decanta sedimentos y otros elementos, filtrando y purificando, en cierta medida, el agua.

Asimismo, la existencia de vegetación y la existencia de la amuna, que capta el agua de lluvia, evitan la erosión de los suelos.

FIGURA 9. Vegetación en las proximidades de una amuna



Fuente: Fotografía propia.

Rol económico. La comunidad de San Pedro de Casta presenta cultivos en la región Quechua, pero también en otras alturas como Yunga y Suni, mientras que las partes más altas que corresponden a la región Jalca o Puna están destinadas al pastoreo. En ambas actividades las amunas cumplen un papel importante al proveer de agua para el riego, tal como pasa con el agua que aflora por el



manantial Cunya, el cual por contar con agua permanente es el más usado con este fin-, también está el agua que aflora en pequeños puquiales que son usados como abrevaderos para el ganado y el agua que se usa en la producción de quesos artesanales. Es así como la presencia de las amunas es uno de los pilares para la realización de las principales actividades económicas de la comunidad y cobran vital importancia en épocas de estiaje.

II.7. SEGURIDAD HÍDRICA, ¿PARA QUIÉN?

La seguridad hídrica se refiere al abastecimiento seguro de agua considerando una disponibilidad tanto en cantidad como en calidad que sea aceptable para la salud, para la producción de bienes y servicios y los medios de subsistencia, incluyendo que, de existir riesgos relacionados al agua, estos sean de un nivel aceptable (ANA, 2010). Asimismo, la seguridad hídrica se relaciona a todas las escalas, desde el individuo hasta lo global, por ende, en ese contexto cada persona puede acceder una cantidad suficiente y saludable de agua a un precio asequible para la higiene y una vida saludable y productiva, asegurando de manera simultánea que el ambiente natural está protegido (GWP, 2000).

Respecto a lo señalado en el párrafo anterior, la situación actual de la comunidad campesina de San Pedro de Casta transgrede casi en su totalidad los puntos considerados para determinar si un territorio y su población cuentan con seguridad hídrica. A continuación, se analiza cada punto de la seguridad hídrica para la comunidad:

Acceso al agua en cantidad. La comunidad campesina posee agua potable suficiente para el consumo humano, los hogares tienen agua todos los días, pero a las 10 de la noche, aproximadamente, disminuye su flujo o se corta el agua en su totalidad como estrategia para racionarlo.

Acceso al agua con calidad aceptable para la salud. En relación con la calidad del agua que reciben, las condiciones no son las óptimas, ya que no tienen una planta de tratamiento. El agua al que acceden proviene de un manantial llamado Putaga, este manantial ha sido captado por la municipalidad distrital para destinarlo al consumo de su población, sin embargo, la calidad del agua no está del todo garantizada y por esta razón, los problemas de salud relacionados a la baja calidad están presentes en la población.

Acceso al agua a un precio justo. El pago que se realiza para acceder al agua tiene un costo accesible para la población. El pago es de 2 soles mensuales destinados al mantenimiento del sistema de captación y transporte del agua.

Riesgos mínimos relacionados al agua. En cuanto a riesgos relacionados al agua, la presencia de las amunas amortigua de alguna manera el tema de eventuales inundaciones y deslizamientos, pero son amenazados por otras situaciones como el cambio climático.

Agua para la producción de bienes y servicios. La comunidad hace uso del agua para realizar sus actividades económicas de agricultura, ganadería y producción de quesos artesanales.



III. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS Y CONCLUSIONES

III.1. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Con base en la información presentada en el ítem de *Resultados* del presente documento, se evidencia que la comunidad campesina de San Pedro de Casta se encuentra vigente y organizada con una conciencia creciente sobre la importancia de las amunas, conciencia que probablemente ya poseían desde la época preincaica, pero que se está fortaleciendo con la presencia de organizaciones que capacitan e incentivan el tema. Asimismo, la Ley de Mecanismo de Retribución de Servicios Ecosistémicos ha insertado positivamente la preocupación en el Estado de proteger, conservar y mantener este tipo de infraestructura hídrica como una de las técnicas de siembra y cosecha del agua que ayuda en la disponibilidad hídrica y cuya conservación conlleva a mantener o incrementar el nivel de seguridad hídrica para Lima Metropolitana y el Callao. Aún es necesario que el rol del Estado se fortalezca y cobre mayor protagonismo en la implementación de acciones y políticas públicas que conserven este tipo de infraestructuras hídricas y prácticas ancestrales de gestión y uso del agua.

Por otro lado, en la comunidad campesina se presenta la paradoja de la necesidad de la fuerza laboral de la población joven de San Pedro de Casta para garantizar que perduren las prácticas ancestrales de mantenimiento y conservación de las amunas. No obstante, hay una fuerte migración de la población, especialmente de los jóvenes, que migran hacia la ciudad de Lima en busca de oportunidades de trabajo y de mejora en su calidad de vida. Esto significa un riesgo que va en incremento, tal como se muestra en la Tabla 4 del presente documento.

Asimismo, hay una certeza de que se está frente a la paradoja de la abundancia, donde el poseedor del recurso no tiene un nivel de desarrollo que vaya acorde con dicha abundancia. La comunidad campesina de San Pedro de Casta posee en su territorio a las amunas y otros recursos relacionados al agua como los bofedales, cochas, manantiales, entre otros y a pesar de ello, presenta un deficiente servicio de agua potable para satisfacer las necesidades básicas de su población.

Sin embargo, Lima Metropolitana y el Callao se ubican en una zona desértica, pero presentan mayor seguridad hídrica. Esto debido a que tienen como principal fuente de agua a la parte alta y media de las cuencas de los ríos Chillón, Lurín, Rímac y Alto Mantaro donde se encuentran comunidades como las de San Pedro de Casta que tiene un territorio con recursos hídricos, pero cuyo acceso a este no es el óptimo.

III.2 CONCLUSIONES

- Bajo la perspectiva geográfica se ha encontrado que las amunas desempeñan diversos roles en el territorio comunal de San Pedro de Casta. El rol hidrológico en la recarga artificial de acuíferos; rol sociocultural que visibiliza la vigencia de la comunidad y su identidad y cohesión cultural; rol espacial que ha condicionado a los comuneros a generar infraestructuras y flujos para conservar las amunas; rol ambiental que evita eventuales riesgos por inundación, filtra el agua, permite la presencia de vegetación por la humedad que aporta al suelo y el rol económico que permite a los comuneros desarrollar sus actividades económicas en épocas de estiaje.



- En relación con los actores que se involucran en la gestión y uso del agua. La comunidad campesina es el actor principal que se organiza para cumplir funciones como el mantenimiento de las amunas y el uso del agua para riego y uso pecuario. Otro actor son las ONG que están fuertemente vinculadas a proyectos de inversión relacionados con la recuperación de las amunas y el fortalecimiento de capacidades de los comuneros y finalmente, el Estado en sus diferentes niveles, como SEDAPAL, SUNASS, la municipalidad distrital y proyectos de siembra y cosecha de agua del Ministerio de Agricultura.
- Respecto a la seguridad hídrica y la situación de la comunidad se concluye que, si las amunas no existiesen, el grado de seguridad hídrica de los comuneros sería mucho menor al que tienen actualmente, porque no tendrían acceso al agua potable (que proviene de un manantial). También estarían expuestos a riesgos como inundaciones y no podrían desarrollar sus actividades económicas normalmente en épocas de estiaje.
- Las amunas de la comunidad campesina de San Pedro de Casta no solo aportan a la seguridad hídrica de su territorio, sino que también aportan a la seguridad hídrica de Lima Metropolitana y el Callao, cuya demanda de agua es cada vez mayor y se acentúa en los períodos de poca precipitación. Las amunas son parte de un conjunto de recursos que brindan servicios ecosistémicos hídricos que significan un gran volumen de agua que de manera superficial o subterránea se capta para abastecer a la metrópoli. Por ello, es muy necesario cualquier acción que permita proteger el recurso hídrico.

IV. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Gelles, P (1984). Agua, faenas y organización comunal: San Pedro de Casta – Huarochirí.

INGEMMET (2007). Guía geoturística Marcahuasi geoparque nacional.

- Autoridad Nacional del Agua (2010). *Glosario de términos de la Ley N° 29338 y de su reglamento* (D.S. N° 001-2010-AG).
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura IICA (2015). *Técnica ancestral del "Mamanteo" y monitoreo hidrológico en Huamantanga*. Provincia de Canta, Lima, Perú.
- Galende Sánchez, Ester (2016). Estrategias para la mejor gestión de los mecanismos de retribución por servicios ecosistémicos hídricos en Lima (PERÚ) a través del análisis de actores.
- Instituto Del Bien Común IBC, Centro Peruano de Estudios Sociales -CEPES (2016). *Directorio 2016 Comunidades Campesinas Del Perú*. Sistema de Información sobre Comunidades Campesinas del Perú (SICCAM).
- Unión Europea, Diakonia, CooperAcción, Natural Resource Governance Institute (2017). *Yaku 2017: Memorias del Primer Encuentro Nacional por el Agua.*
- Global Water Partnership. Nota informativa Servicios ecosistémicos y seguridad hídrica (2000). Recuperado de https://www.gwp.org/globalassets/global/about-gwp/publications/briefing-notes/gwp_briefing_note_ecosystems_spanish_web.pdf
- Ancajima, Ronal (2013). *Tecnologías Ancestrales -Sistemas Hidráulicos Pre Incas e Incas.* Recuperado de http://www.minam.gob.pe/diadiversidad/wp-content/uploads/sites/63/2015/01/resumen1.pdf



- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura IICA (2015). Las "Amunas" para siembra y cosecha de agua. Huarochirí, Perú. Recuperado de http://giaaf.pe.iica.int/getattachment/80b76d08-d338-48d5-bfd8-8ecd607fb34b/Recuperacion-de-tecnica-ancestral-del-Mamanteo%E2%80%9D-y.aspx
- Servicio Nacional De Meteorología E Hidrología Del Perú (2016). Vulnerabilidad Climática de los Recursos Hídricos en las cuencas de los ríos Chillón, Rímac, Lurín y parte alta del Mantaro / Resumen Ejecutivo. Ediciones SENAMHI, Lima, Perú. Recuperado de http://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/124
- Barriga, Lesly (2018). Aportes de la institucionalidad tradicional comunal a la nueva institucionalidad del agua en el Perú. Estudio de caso en la comunidad campesina de San Pedro de Casta (Provincia de Huarochirí, Lima). Recuperado de http://tesis.pucp.edu.pe:8080/repositorio/handle/20.500.12404/12892
- Catholic Relief Service (2019). *Estrategia de Seguridad Hídrica hacia 2030*. Recuperado de https://www.crs.org/sites/default/files/tools-research/water_strategy-spanish-web.pdf
- Ochoa-Tocachi et al. (2019). Contribuciones potenciales de la infraestructura preincaica de infiltración de agua para la seguridad hídrica en los Andes. Recuperado de https://www.forest-trends.org/wp-content/uploads/2020/02/Resumen-Amunas_ES.pdf





Análisis geomorfológico-histórico del valle de San Rafael – Cuenca del río Casma, Perú

César Abad Pérez

RESUMEN

El río Casma es un río de régimen torrencial que presenta un patrón trenzado en constante evolución, vinculado principalmente por crecidas relacionadas con el Fenómeno El Niño (FEN). Entre los años 1966 y 2017 se produjeron varias inundaciones que han modificado su cauce; sin embargo, las modificaciones más significativas están relacionadas con la canalización del río a partir del año 2011.

Existe una fuerte presión por la ampliación agrícola, lo que ha dado como resultado la reducción de la superficie de bosques, así como la ocupación agrícola dentro de la denominada faja marginal del río. Se requiere mejorar la gestión de la zona de la ribera, con la finalidad de su restauración ecológica y su tratamiento integral.

PALABRAS CLAVE: geomorfología fluvial, inundaciones, método geomorfológico-histórico, estudio evolutivo.

DATOS DEL AUTOR

Geógrafo con más de 15 años de experiencia en instituciones nacionales e internacionales en gestión territorial, gestión estratégica de los recursos naturales, gestión de riesgos y geotecnologías. Actualmente es candidato a Doctor en Geografía, Planificación Territorial y Gestión Ambiental por la Universidad de Barcelona.

cesarabadperez@gmail.com

© Este artículo es de acceso abierto sujeto a la licencia Reconocimiento 4.0 Internacional de *Creative Commons*. No se permite un uso comercial de la obra original ni la generación de obras derivadas. Para más información, visite: *https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/*

ABSTRACT

The Casma River is a torrential river that presents a braided pattern in constant evolution, mainly related to floods of the El Niño oscilation. Between 1966 and 2017 several floods have modified the channel; however, the most significant modifications are related to the channeling of the river as of 2011.

There is strong pressure for agricultural expansion, which has resulted in the reduction of forest area, as well as agricultural occupation within the so-called marginal strip of the river. It is necessary to improve the management of the riverbank area, with the aim of its ecological restoration.



KEYWORDS: *fluvial geomorphology, floods, historical-geomorphological method, evolutionary study.*

© This article is of open access to the public and subject to the Creative Commons Attribution Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License. The commercial use of this original work and the production of derived works from this article is not allowed. For more information, please visit: https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/



INTRODUCCIÓN

EL FENÓMENO EL NIÑO Y LAS INUNDACIONES EN EL NORTE DEL PERÚ

Las inundaciones en el Perú ocurren entre los meses de noviembre y abril. Estos meses que coinciden con el incremento de las precipitaciones que pueden generar el incremento del caudal de los ríos y producir inundaciones. Las mayores pérdidas humanas y materiales por inundaciones ocurren en la costa del Perú (Ojeda Couchoud, Sovero Sovero, Vargas, Pacha Vicente, & Pernas Canadell, 2015) y, en su mayoría, están relacionadas con el Fenómeno El Niño (FEN). Esto ocurre porque en la costa peruana se concentran grandes ciudades e infraestructuras, lo que incrementa la vulnerabilidad frente a este fenómeno.

El Fenómeno El Niño es una "fluctuación climática que ocurre en el Océano Pacífico con una periodicidad de 2 a 7 años" (Dewitte et al., 2014) que genera un incremento en la temperatura superficial del agua de mar, y constituye "la mayor perturbación natural en el sistema climático global" (Apéstegui, Macharé, Takahashi, Sifeddine, & Ortieb, 2015). Esta variabilidad climática tiene una fase cálida y una fase fría. Durante la fase cálida la atmósfera tropical se calienta y humedece generando intensas precipitaciones en la costa oeste de Sudamérica (SENAMHI, 2014). Los efectos climáticos son diferenciados a nivel global. En el caso del Perú, las condiciones climáticas afectan a la agricultura y la pesca, mientras que las inundaciones y flujos de detritos afectan a muchas zonas urbanas y rurales.

Según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI, 2014), la **Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica** (NOAA en inglés) utiliza el Índice Niño Oceánico (ONI en inglés)¹ para identificar los fenómenos de El Niño y La Niña y clasificarlos por su magnitud. Algunos de los eventos de mayor magnitud (de intensidad fuerte a extraordinario) durante el siglo XX ocurrieron el año 1925, 1982-1983, 1997-1998, y en el siglo XXI en el año 2017.

Según SENAMHI, durante el FEN del año 1982-1983 se produjo un incremento de temperaturas y precipitaciones. En la costa norte del Perú se presentaron precipitaciones anómalas de 3000 mm, mientras que la sierra sur debía lidiar con la sequía. Esto generó daños estimados en US\$ 3283 millones.

En el FEN 1997-1998 ocurrieron pérdidas de US\$ 3,500 millones. En el año 2017, las pérdidas estimadas se calculaban entre US\$ 6,000 y US\$ 9,000 millones (French & Mechler, 2017). A pesar de que el número de muertos ha disminuido significativamente en el último FEN con respecto al del año 1982-1983, el número de afectados y de infraestructura dañada es importante (los autores se basaron en información de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Banco de Desarrollo de América Latina y el Instituto de Defensa Civil). Casi se ha triplicado la longitud de vías afectadas entre el primer y el último FEN (2600 km en 1982-1983 y 6,614 km en el 2017), también se ha elevado el número de viviendas afectadas (111,000 en 1982-1983 y 242,433 en el 2017), colegios y centros de salud. Esto demuestra que no se está planificando adecuadamente el uso del territorio, pues se ocupa sin tener en cuenta la realidad morfodinámica.

¹ "Este índice se calcula promediando 3 meses consecutivos la serie mensual de las anomalías de la temperatura superficial del mar medidas en el Pacífico tropical en la Región El Niño 3.4" (SENAMHI, 2014).



El Fenómeno El Niño plantea retos muy importantes para la gestión del territorio, ya que es parte importante de la dinámica natural. Por ello, es necesario conocer su dinámica y los eventos asociados, para una adecuada gestión del riesgo. Según diversas fuentes analizadas por el SENAMHI (2014), solo en los últimos cinco siglos han ocurrido al menos 120 FEN, y durante el siglo XX ocurrieron al menos 25 con diferentes intensidades.

LOS MÉTODOS PARA GENERAR INFORMACIÓN SOBRE PELIGROS Y LA NECESIDAD DE PLANTEARNOS ALTERNATIVAS METODOLÓGICAS

Entre los principales métodos para el análisis de inundaciones tenemos los hidrológicos e hidráulicos y el geomorfológico. Los métodos hidrológicos e hidráulicos se basan en técnicas estadísticas que procesan información hidroclimática. Se hacen cálculos con hidrogramas para asignar la probabilidad de ocurrencia de un evento. Pueden usarse métodos directos (a partir de aforos) o indirectos (que modelizan el comportamiento en base a cálculos matemáticos y físicos). El análisis de máximas avenidas se calcula con la ayuda de distribuciones de probabilidad (Apaclla Nalvarte, 2010).

El método geomorfológico-histórico constituye un método geográfico que estudia el funcionamiento natural de los cursos de agua y analiza la estructura de las formas de origen fluvial que permiten identificar las inundaciones sucesivas (DIREN-PACA, 2007). Se realiza a partir de diversas fuentes de información espacial, tales como fotografías aéreas, imágenes de satélite, mapas topográficos, entre otros, así como el trabajo de campo. Su costo es relativamente bajo y permite cubrir grandes espacios, además se puede complementar con el uso de métodos hidrológicos e hidráulicos.

En la actualidad, las decisiones sobre la gestión de las planicies inundables se basan en gran parte en los métodos hidrológicos e hidráulicos que limitan el entendimiento integral de la dinámica fluvial y que muchas veces han llevado a implementar obras de protección que han alterado la dinámica natural de los ríos. Como sociedad, todavía no hemos logrado conocer la dinámica fluvial, pero hemos generado normas e instituciones que ocasionan sobrecostos al Estado y pérdidas importantes. Tal como afirman algunos expertos, "sin un buen conocimiento de la dinámica fluvial es muy difícil realizar un análisis y diagnóstico certero del estado de un río" (Ballarín Ferrer & Rodríguez Muñoz, 2013).

Si el costo de las pérdidas producidas por el Fenómeno El Niño se ha duplicado no es necesariamente por una mayor magnitud de las inundaciones y flujos de detritos, sino por una mayor artificialización del medio natural que no tiene en cuenta su dinámica. El modelo económico primario-exportador del Perú ha dado como resultado un crecimiento económico, pero también ha incrementado la ocupación de zonas de alto riesgo desconociendo la dinámica ambiental y su nivel de vulnerabilidad. La expresión "en las últimas décadas se ha maltratado a los ríos, aumentando su deterioro ambiental y sus riesgos" (Ballarín Ferrer & Rodríguez Muñoz, 2013) aplica perfectamente al Perú.

La restauración fluvial es fundamental como medida para lograr un sistema fluvial que sea lo más parecido a las condiciones naturales. Esto implica combinar métodos de evaluación y justifica el enfoque histórico-geomorfológico como complemento a los métodos hidrológicos e hidráulicos convencionales, pero obliga también a un activo proceso de gestión territorial que tome como punto de partida la concientización de los involucrados para lograr acuerdos y conseguir la mejor ocupación del suelo.



ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra en el departamento de Áncash, en la provincia de Casma y distrito del mismo nombre. La cuenca del río Casma se encuentra a más de 360 km de la ciudad de Lima y a 10 km de la ciudad de Casma, capital de provincia. Está ubicada aproximadamente a los 9° 26′ de latitud sur y los 78° 12′ de longitud oeste. El rango altitudinal se encuentra entre los 90 m.s.n.m. en la planicie fluvial, y aproximadamente a los 1,300 m.s.n.m. en el cerro Mucho Malo (Figura 1). El área de estudio cuenta con una superficie total de 5,154 hectáreas y comprende un tramo de aproximadamente 5 km del río.

La cuenca del río Casma es atravesada por este río, el mismo que forma un valle donde predomina la actividad agrícola. A este sector del valle se le denomina Valle de San Rafael. Los límites hacia el este y oeste están definidos por las divisorias de aguas de las cuencas torrenciales que se encuentran hacia ambas márgenes del río, mientras que hacia el norte se encuentra el Fundo Santa Ana, en el Valle, y hacia el sur el poblado Barrios Altos, en el mismo Valle.

Monte Grande

Monte Grande

Pampa de las Plantas

Pedro Bajo

Barnos Altos

Barnos Altos

Jose Calvez

Pueblo Joven

Pampa Cartillas

Pampa Ca

FIGURA 1.Mapa de ubicación del ámbito de estudio

Fuente: Elaboración propia.



El área de estudio presenta un clima predominantemente desértico. La estación meteorológica más cercana a esta área es la Estación Buena Vista que se encuentra a una altitud de 220 m.s.n.m. La precipitación media anual para la mayor parte del área de estudio es de 3.29 mm (INRENA, 2007b). Por este motivo, la actividad agrícola depende principalmente de las aguas provenientes de las partes altas y en menor medida de la explotación del acuífero. A pesar de tan bajas precipitaciones, en el mes de marzo del año 2017, con 8 horas de lluvia en la zona desértica, se activaron varias cuencas torrenciales, lo que evidencia que muchas formas de relieve que muestran signos de erosión hídrica revelan escorrentías pasadas que podrían reactivarse.

El ámbito de estudio forma parte de la cuenca del río Casma con sus nacientes en las alturas de la Cordillera Negra. La cuenca tiene una altitud máxima de 4,862 m.s.n.m. El tramo de estudio se encuentra en la zona media baja de la cuenca, y tiene una pendiente media de entre 0.6 % y 0.7 % (INRENA, 2007a). Aguas arriba del área de estudio hay un cambio importante de pendiente (entre 2.9 % a 0.7 %), lo que influye significativamente en la carga de sedimentos del río y permite que haya una alta descarga de sedimentos en la zona formándose el patrón trenzado del cauce.

El río Casma presenta un régimen irregular de carácter torrentoso, con marcadas diferencias entre sus caudales medios diarios, que varía entre un máximo de 320 m3/seg y un mínimo de 0.0 m3/seg. La media anual en la estación Puente Carretera (4 kilómetros aguas abajo del área de estudio) es de 5.4 m3/seg, equivalente a un volumen medio anual de 170,310,000 m3 y en la estación de Pactao (20 kilómetros aguas arriba del área de estudio) es de 7.33 m3/seg.

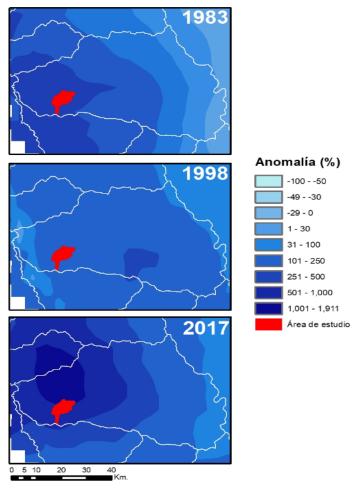
El Fenómeno El Niño (FEN) es la principal anomalía climática recurrente que genera una gran afectación en el área, principalmente, por la ocurrencia de inundaciones y flujos de detritos. En ese sentido, hay registros instrumentales realizados entre 1960 y 1999 que aportan información importante. Este es el caso del FEN ocurrido entre 1997-1998 que generó una descarga máxima de 410 m3/seg. Además, se han realizado cálculos de máximas avenidas para recopilar más datos. El Ministerio de Agricultura realizó el cálculo de caudales máximos en diferentes lapsos de tiempo. En un período de 25 años obtuvo 183.29 m3/seg, luego, la cifra se eleva a 242.1 m3/seg en un período de 50 años, crece a 245.48 m3/seg hacia los 100 años y aumenta notablemente a 364.88 m3/seg hacia los 200 años (Apaclla Nalvarte, 2010).

En la Figura 2, se aprecia el cambio de patrón de distribución de las precipitaciones en la cuenca del río Casma durante la ocurrencia de diversos eventos del Fenómeno El Niño (límite en blanco). Esto es más evidente en la parte oeste que corresponde a la zona costera.

En los tres ciclos de ENSO (El Niño-Oscilación del Sur) que se muestran en la Figura 2 hay incrementos de más del 100% correspondientes a períodos trimestrales. Las anomalías fueron más significativas durante las precipitaciones de los años 1983 y 2017. Además, hay un incremento de más del 500 % en 1983 y casi 2000 % en el 2017. Estas anomalías tienen una repercusión en el caudal del río Casma y también en la actividad de las cuencas torrenciales.



FIGURA 2.Anomalías de precipitación durante ENSO (El Niño-Oscilación del Sur) en los años 1982/1983, 1997/1998 y 2017.



Fuente: Elaboración propia en base al producto grillado PISCO. Aybar et al, 2017.

Geomorfológicamente, en el área de estudio existen formas de origen denudacional, aluvial y eólico (Figura 3). Está área está comprendida por colinas bajas y medias, glacis y abanicos aluviales y planicies fluviales con agricultura. En términos geodinámicos es importante considerar tres grandes agentes que influyen en la geodinámica: los vientos del anticiclón Pacífico Sur, las precipitaciones extraordinarias y la variabilidad del caudal del río Casma.

En el caso los vientos del anticición del Pacífico Sur, hay que señalar que este actúa diariamente y tiene una influencia considerable en la actividad de las cuencas torrenciales de la margen izquierda. La arena acarreada desde las playas que se encuentran al suroeste del área de estudio se deposita en la margen izquierda formando grandes mantos de arena sobre las colinas. Estas influyen en el tiempo de infiltración de la lluvia en el suelo por lo que hay una relativa estabilidad en términos de la dinámica torrencial, pero alta en términos de la dinámica de eólica.

Los glacis y abanicos aluviales están recubiertos, en gran parte, por arena que es retenida por un bosque de algarrobos que no permiten que exista migración de arena hacia el valle. Este bosque brinda un servicio ecosistémico fundamental, pues contribuye con la estabilización de las dunas que



forman parte de un corredor de dunas longitudinales y barjanas activas que se forman cerca a la playa Gramadal, ubicada a más de 30 km al suroeste del área de estudio. Estos algarrobales se desarrollan gracias al acuífero del río Casma.

La unidad de planicies fluviales con agricultura está influenciada en términos geodinámicos por la dinámica del río, cuyas crecidas están vinculadas por las precipitaciones en la parte media y alta de la cuenca. En el caso de las colinas altas y sus depósitos de piedemonte, su dinámica es más esporádica y está relacionada con las precipitaciones excepcionales relacionadas con el Fenómeno El Niño. A pesar de ser menos activas, sus procesos morfodinámicos pueden ser de gran magnitud y alto nivel de afectación, a pesar de su escasa ocupación.



FIGURA 3.Mapa geomorfológico del área de estudio

Fuente: Adaptación de información de la Municipalidad Provincial de Casma, 2017.



La principal actividad económica en el Valle de San Rafael es la agricultura destinada a la agroexportación (predomina el cultivo de mango y palta). La provincia de Casma cuenta con una población total de 42,368 habitantes (INEI 2017). Sin embargo, en el ámbito de estudio, la población es solo de 483 habitantes y es eminentemente rural (Municipalidad Provincial de Casma, 2017).

METODOLOGÍA Y FUENTES DE INFORMACIÓN

Para esta investigación se usó como referencia la metodología propuesta en la "Guía metodológica para el desarrollo del sistema nacional de cartografía de zonas inundables" (Martínez & Fernández, 2011). Por ello, se realizaron algunas modificaciones y adaptaciones en función a la información disponible y a otras propuestas metodológicas. También se realizó el análisis de las medidas de gestión implementadas para la mitigación del riesgo que luego fueron contrastadas con los resultados del análisis geomorfológico-histórico. En la Figura 4 se puede observar el proceso general de la metodología.

Entrevistasen
Campo

Análisis histórico

Delimitación de couce histórico

Análisis de geomorfológico

Análisis de

FIGURA 4. Proceso metodológico de la investigación

Fuente: Elaboración propia.

El estudio geomorfológico-histórico partió del estudio evolutivo del medio fluvial. Con este fin se realizó un análisis diacrónico de inundaciones con base en el análisis multitemporal de fotografías aéreas e imágenes de satélite y tomando como referencia las series hidrométricas históricas.

Luego, se realizó un análisis geomorfológico en base a imágenes de satélite e índices morfométricos, así como también un análisis de usos del suelo. Esta cartografía fue verificada en campo, lugar en



donde se realizaron entrevistas, así como el llenado de fichas para registrar las evidencias de actividad geodinámica. Esto permitió hacer un análisis geomorfológico histórico y determinar peligros por inundación. También se registraron los resultados obtenidos con las medidas de gestión implementadas. Esto permitió evaluar su pertinencia y brindar algunas recomendaciones al respecto.

Las fotografías aéreas e imágenes de satélite fueron seleccionadas en función al registro de descargas máximas anuales (Tabla 2). También se dispone de un registro fotografías aéreas desde el año 1966 que fueron tomadas con sensores remotos, también hay imágenes de satélite que datan de 1972 hasta la fecha (Tabla 1) y que fueron procesadas para su posterior interpretación visual.

En el caso de las imágenes de satélite, hay información disponible de años anteriores y posteriores al evento. Para este fin también sirven como referencia las evidencias de sedimentación y disturbación interpretadas a partir de las imágenes de satélite. Por otro lado, con las fotografías aéreas se elaboró una ortofoto con la ayuda del software PCI Geomatica. Las imágenes de satélite fueron procesadas con el mismo software generando diferentes combinaciones de bandas para una posterior interpretación visual.

TABLA 1.Fotografías aéreas e imágenes de satélite utilizadas en cada evento

MÁXIMA DESCARGA			SATÉLITE	CENICOD	FECULA		
AÑO	MES	CAUDAL (m³/seg)	SATELITE	SENSOR	FECHA		
2017	Marzo		Sentinel-2	MultiSpectral Instrument	25/03/2017		
			Jenunei 2		5/03/2017		
2006	Marzo		(26/05/2007			
2000				The matic Mapper	28/02/2006		
1999	Febrero	90			18/12/1999		
			Landsat 5		8/01/1999		
1998	Enero	410			10/03/1998		
					3/02/1997		
1996	Marzo	100			1/02/1996		
1994	Febrero	80			5/07/1994		
					7/11/1993		
1993	Marzo	80			28/03/1993		
					8/02/1993		
1983	Marzo	80	Landsat 4		16/12/1984		
			Landsat 3	Multipappatus I Common	28/03/1979		
1979	Marzo	84.5	•	Multispectral Scanner	4/08/1975		
1972	Marzo	140	•		31/12/1972		
1971	Febrero	105					
1970	Enero	120					
1961	Abril	135	Fotografías aéreas de 1966				

Nota. Esta tabla muestra el tipo de imagen que se utilizó en cada evento (el color verde destaca la fecha de cada evento). También se puede ver información de caudales del SENAMHI e información generada en el presente estudio.

Para el mapeo geomorfológico, además de los insumos mencionados se pudo disponer de una nube de puntos LiDAR levantada en el mes de marzo de 2017 por la empresa Horizons para el Proyecto Arqueológico Chankillo. Además de la interpretación visual de la información generada a partir del DEM LiDAR se produjo información morfométrica como pendientes y orientaciones.

En base a la cartografía ejecutada en los pasos previos, se realizó el trabajo de campo que consistió en tres actividades principales:

- Entrevistas y mapeo participativo de inundaciones históricas.



- Identificación de evidencias geomorfológicas de inundaciones y flujos de detritos.
- Recopilación de información secundaria e instrumentos de gestión.

El trabajo de campo se realizó durante todo el mes de mayo del año 2018. En la Figura 5 se pueden observar las zonas recorridas que aparecen destacadas en color amarillo. Disponer de más de 500 puntos de observación permitió verificar las evidencias morfológicas de inundaciones y flujos de detritos, conjuntamente con la población local (Foto 1). La cantidad de puntos de observación posibilitó un levantamiento más exhaustivo, por tratarse de un estudio detallado, así como también descartar la influencia de la actividad torrencial de las guebradas aledañas en las inundaciones.

Monte Grande

| Fundo | Sania Ana | Hacienda | Mojeque | Cutama | Cutama | Mojeque | Cutama | Cutam

FIGURA 5. Recorrido de campo

Fuente: Elaboración propia.

El mapeo participativo consistió en visitas de campo donde se realizaron entrevistas sobre los calados, afectación y la huella máxima de la inundación. En este lugar, también se realizó la delineación de los diferentes eventos con el apoyo de imágenes de satélite impresas. Es importante



señalar que los testimonios sobre eventos anteriores a las inundaciones de los años 1982-1983 son casi inexistentes debido a que la población es predominantemente migrante y ocupa la zona desde mediados de la década de 1970.

FIGURA 6.Visita de campo con agricultores en zona inundada del sector de San Rafael.



Fuente: Elaboración propia.

Para identificar evidencias de inundaciones y flujos de detritos se utilizaron fichas de campo. En el caso de las inundaciones se encontraron evidencias de márgenes erosionados, depósitos de inundaciones del 2017, así como evidencias de calados a partir de flotantes ligeros que aún se encuentran visibles (Figura 7, 8 y 9).

FIGURA 7. Flotantes ligeros que indican el calado de la inundación del año 2017



Fuente: Elaboración propia.



FIGURA 8.Depósito de inundación del año 2017 donde se ha realizado actividad agrícola



FIGURA 9

Cultivos permanentes afectados por las inundaciones del año 2017



Fuente: Elaboración propia.

Toda la información generada previamente permitió delimitar el medio fluvial sobre la base de una cartografía geomorfológica existente, evidencias de terrazas, así como los límites de los conos aluviales. De esta forma, también fue posible precisar los límites de estos ámbitos para un mejor análisis de los procesos morfodinámicos que predominan en cada uno de ellos, así como delimitar las cuencas torrenciales.

Al contar con la evidencia de campo se realizaron ajustes a los mapas preliminares, y posteriormente se realizó el mapeo multitemporal de cauces históricos a través de la interpretación visual de las



imágenes de satélite y las fotografías aéreas. Debido a que la mayoría de las imágenes de satélite no coincidían con el año o mes de la inundación, no fue posible generar índices y transformaciones de las imágenes de satélite, excepto para el año 2017 en el que se obtuvieron imágenes Sentinel-2 del mismo mes de la inundación. En este caso se generó un índice de agua a través del método Gao (Baig et al., 2013), que consiste en un índice de diferencia normalizada entre la banda del infrarrojo cercano (IRC) y la banda infrarroja de onda corta.

Para el mapeo se realizó un análisis visual de cambios entre una fecha anterior al evento, y una fecha posterior. Esto puso en evidencia algunos elementos en la imagen como depósitos de sedimentos, cambios en la vegetación, etc. que permitieron interpretar la inundación en este contexto y complementar con información recogida en campo para obtener resultados con una buena aproximación.

Adicionalmente a la interpretación de las zonas inundadas, se realizó una interpretación más detallada en el cauce en condiciones naturales y en el cauce con modificaciones antrópicas de los años 1966 y 2017. La leyenda utilizada para interpretar cauces históricos fue la siguiente:

- Canal de aguas bajas
- Zona ribereña
- Zona con alta actividad fluvial
- Cauce antiguo no activo
- Llanura aluvial

También se realizó un análisis del uso de la tierra y de la presencia de bosques ribereños para conocer la influencia de estos en la dinámica fluvial. Los bosques fueron mapeados a partir de la interpretación visual de las imágenes de satélite y la ortofoto.

Según el Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (Martínez & Fernández, 2011), el análisis geomorfológico tiene como objetivo definir unidades inundables en relación con su diferencia de altura con el cauce basadas en evidencias de inundabilidad reciente, para luego plantear una correspondencia con el modelamiento hidráulico. Las observaciones geomorfológicas permitirán definir el dominio público hidráulico probable2 y combinar el análisis geomorfológico con el análisis histórico.

El análisis geomorfológico se basó en evidencias de los cursos de agua efímeros y evidencias topográficas con información obtenida a partir del trabajo de campo, fuentes secundarias y análisis cartográfico. Una de las principales fuentes de información utilizadas para este análisis, aparte de la evidencia de campo, fue la información morfométrica que identifica elementos poco reconocibles en campo.

Al mismo tiempo, se generó un modelo de elevaciones relativas sobre la superficie de agua a partir del MDE LiDAR, el mismo que permite mapear con precisión unidades inundables con relación a su diferencia de altura con el cauce. En este modelo, la superficie de agua representa el cauce activo

² "El DPH cartográfico o probable es la superficie de terreno correspondiente al álveo o cauce natural de una corriente continua o discontinua cubierta por las aguas en las máximas crecidas ordinarias, determinada según sus características geomorfológicas, ecológicas y teniendo en cuenta las informaciones hidrológicas, hidráulicas, fotográficas y cartográficas que existan, así como las referencias históricas disponibles" (Artículo 4 del Real Decreto 9/2008, de 11 de enero, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril)



actual, y las superficies relativas están en relación con la sección transversal del río. Esto brinda una ventaja bastante significativa respecto al modelo de elevación digital convencional, pues permite una delineación más precisa de barras y terrazas fluviales (Figura 10). Para su elaboración se utilizó el método propuesto por el Departamento de Ecología del Estado de Washington (GeoEngineers, 2013). En base a esta información, a las imágenes de satélite, e información de campo, fue posible elaborar un mapa geomorfológico que presenta las unidades inundables en condiciones naturales.

ntes ligeros que indican el calado de la inundación del año

FIGURA 10. Flotantes ligeros que indican el calado de la inundación del año 2017

Fuente: Elaboración propia.

RESULTADOS

INUNDACIONES HISTÓRICAS

Para esta investigación se analizaron cinco episodios de inundación, de los cuales, el del FEN 1997-1998 presentó un caudal equivalente a un período de retorno mayor a 200 años. En el caso del FEN 2017 no hay información del caudal; aunque según los testimonios de los agricultores, fue muy parecido al del año 1998.



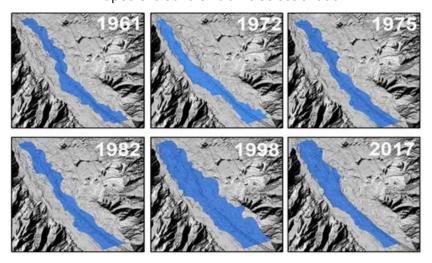
TABLA 2. Inundaciones históricas ocurridas entre 1961 y 2017.

AÑO DE MÁXIMA DESCARGA	CAUDAL (m3/seg)	PERÍODO DE RETORNO APROXIMADO	SUPERFICIE INUNDADA TOTAL (ha)	AFECTACIÓN	ENVERGADURA
1961	135	Cerca de 25 años	205	Afectación a cultivos	Máxima crecida
1972	140	Cerca de 25 años	211.85	Afectación a cultivos	Máxima crecida
1982	80	Menos de 25 años	238.4	Afectación a cultivos	Máxima crecida
1998	410	Mayor a 200 años	443	Cultivos y centros poblados	Crecida excepcional
2017	Sin información*		266	Afectación a cultivos y centros poblados	Máxima crecida o crecida excepcional

Fuente: Esta tabla muestra información de caudales del SENAMHI e información obtenida en el presente estudio.

Como se puede observar en la Tabla 2, el evento de mayor caudal y que causó mayor afectación fue el FEN 1997-1998. Según los entrevistados, fue tan grande la afectación que obligó a muchas familias que vivían dispersas a concentrarse en los actuales centros poblados. En la Figura 11, puede apreciarse una extensión bastante considerable del área inundada en el año 1998 y que cubre gran parte de la planicie aluvial.

FIGURA 11.Mapeo evolutivo en tramo seleccionado



Fuente: Elaboración propia.

^{*}Según testimonio de la población, el caudal en este año fue similar al del año 1998.



En el año 2017, hubo una clara tendencia de inundación hacia la margen izquierda y apareció un patrón recto hacia la margen derecha del área inundada. La Figura 12 permite analizar con mayor detalle las frecuencias de las inundaciones. Como puede observarse, las mayores frecuencias se encuentran concentradas hacia el centro y sur del área de estudio, excepto durante el FEN 1997/1998, cuando el río ocupó un área mayor hacia el este, pero se trata de un único evento en los casos analizados. Hacia el norte, existe una tendencia del flujo de orientarse hacia la margen derecha.

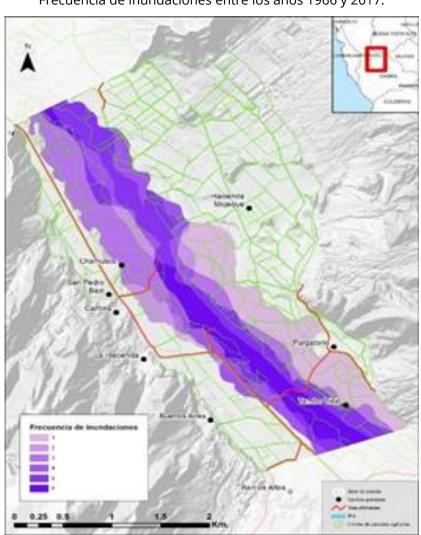


FIGURA 12. Frecuencia de inundaciones entre los años 1966 y 2017.

Fuente: Elaboración propia.

Para analizar estos cambios es importante analizar el proceso de ocupación y las intervenciones estructurales en el río. Para ello, primero veremos el caso del mapeo de cauces de los años 1966 y 2017 que corresponden a dos situaciones bastante distintas. El cauce del año 1966 es un cauce aparentemente natural, al menos en términos de medidas estructurales, mientras que el cauce del año 2017 es un cauce con condiciones alteradas por la construcción de diques longitudinales a partir del año 2010.

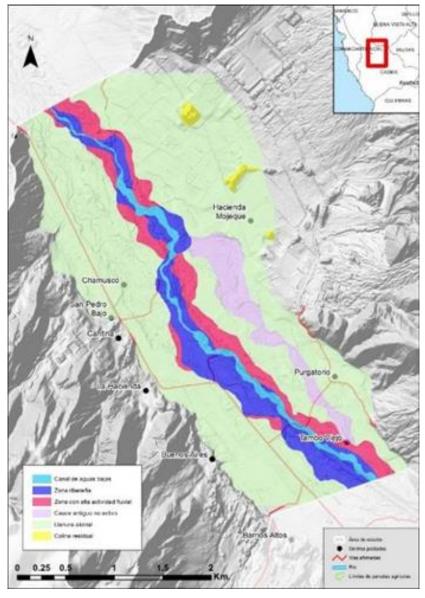


FIGURA 13.Análisis morfológico del cauce para el año 1966

En 1966 no existían obras de protección de riberas. Tal como se puede observar en la Figura 13, la zona ribereña sigue casi la misma dirección que las frecuencias 5 y 6 de inundaciones en la Figura 10, ocupando casi el mismo ancho. Estas frecuencias comprenden el canal de aguas bajas, la zona ribereña y la zona de alta actividad fluvial. El denominado cauce antiguo no activo fue un cauce ocupado por el flujo de inundación el año 1998, pudiendo tratarse del lecho mayor excepcional. Obsérvese la diferencia entre el canal de aguas bajas del año 1966 y el del año 2017 (Figura 14). Esto se debe a la presencia de un dique longitudinal que fue construido a partir del año 2011 que colapsó varias veces, pues era solo de tierra.

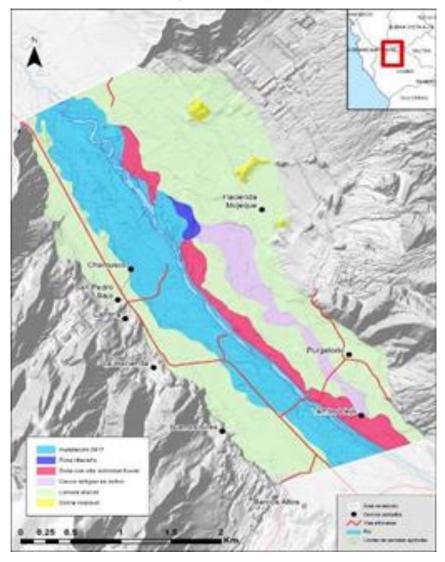


FIGURA 14.Análisis morfológico del cauce para el año 2017

Como puede observarse en el mapa del año 2017 (Figura 14), esta obra de protección afectó significativamente la hidráulica del río, obligando al flujo a recuperar un antiguo cauce que se había activado en los años 1975 y 1998. En la actualidad, se pretende reconstruir esta obra y mejorarla con enrocado. Esta modificación significativa del cauce entre los años más distantes, podría hacer pensar que se trata únicamente de la influencia del dique longitudinal. Para descartar esta situación se realizó un análisis multitemporal del uso de la tierra y la deforestación.

En la Figura 15 se puede observar el mapa de cobertura y uso actual de la tierra. Los polígonos verdes claros muestran los cultivos permanentes que están destinados para la agroexportación. En los últimos años hubo grandes inversiones agrícolas para el cultivo de frutales como palta, mango, etc. Esto ha generado una fuerte presión por la expansión del área agrícola en detrimento de los cauces naturales y bosques ribereños asociados. En consecuencia, hay una fuerte demanda por obras de protección.

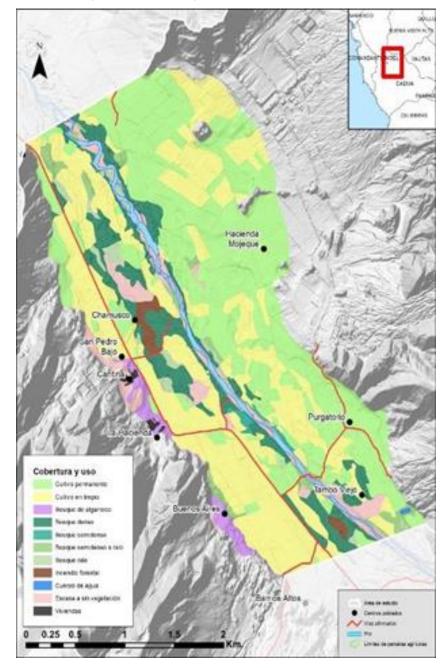


FIGURA 15.Mapa de cobertura y uso actual de la tierra (2019)

La superficie actual de bosques ribereños densos en el tramo seleccionado es de 97 hectáreas. Aunque había una mayor concentración de bosques en la zona que fue afectada por el FEN 1998 y 2017 se puede apreciar que 1966 había una superficie de 106 hectáreas de bosques (Figura 16). A pesar de que la diferencia en la superficie de bosques no es muy considerable entre ambas fechas, la gran diferencia es posiblemente su distribución a lo largo del cauce. Hasta el año 1975 se mantuvo un patrón de cauce trenzado, pero no tan móvil.

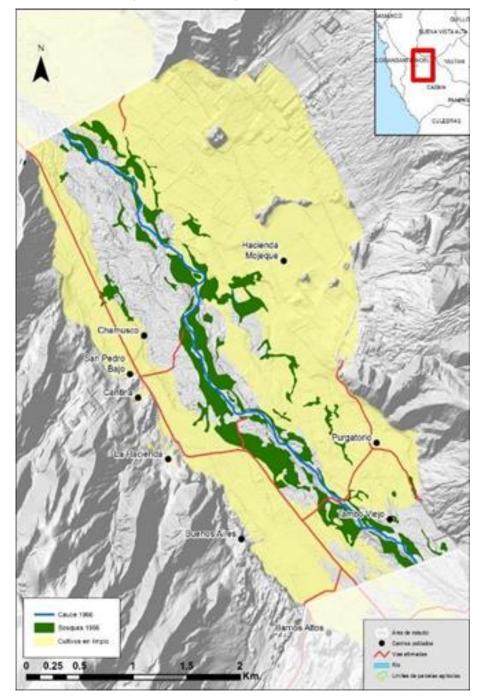


FIGURA 16Mapa de cobertura y uso de la tierra 1966

A nivel de análisis cartográfico, no se puede sacar conclusiones tan precipitadas sobre el papel de los bosques en el cambio del patrón del flujo. Sin embargo, algunas personas entrevistadas consideran que cumplen un papel importante en la protección contra las inundaciones. Lo que sí está muy claro es el papel de los diques longitudinales en la hidráulica fluvial.



ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO

El análisis geomorfológico dio como resultado siete unidades en función a la inundabilidad, para ello se usó el sistema francés mencionado anteriormente (DIREN-PACA, 2007). Como puede observarse en la Figura 17, el río ha divagado por casi todo el lecho fluvial. En ese contexto, las unidades de inundabilidad son las siguientes:

- Lecho menor artificial

Constituye el lecho actual que se encuentra formado por diques longitudinales enrocados que forman un canal artificial de 60 metros de ancho. Cabe resaltar que este lecho se encuentra hasta 4 metros por encima de otras unidades, debido a la acumulación de sedimentos producida por la construcción del dique, que hasta el año 2017 era predominantemente de tierra y colapsó ese mismo año en varios tramos.

- Lecho menor natural

Constituye el lecho natural que se evidencia por la mayor frecuencia de los eventos históricos, formando una serie de canales de aguas bajas donde el río divaga preferentemente.

- Lecho medio

Terrazas de 1.5 a 3 metros en relación al cauce actual del río.

- Lecho medio negativo

Se trata de terrenos inundables que se encuentran entre 1.4 y 4 metros por debajo del lecho menor artificial.

Terraza alta

Terrenos que se encuentran por encima de los 2.8 metros en relación al cauce actual del río. No existen evidencias morfológicas de inundaciones ni paleocauces.

- Lecho mayor excepcional probable

Son terrazas que se encuentran en la margen izquierda del río a una altura que supera los 2 metros de las zonas de inundación recientes. No presentan evidencias de inundaciones desde la década de 1960, pero posiblemente se debe a que fueron disturbados por la actividad agrícola.

- Lecho mayor

Se encuentran hacia la margen derecha del río y se ven afectados en eventos excepcionales como las inundaciones ocurridas durante el FEN 1997/1998.

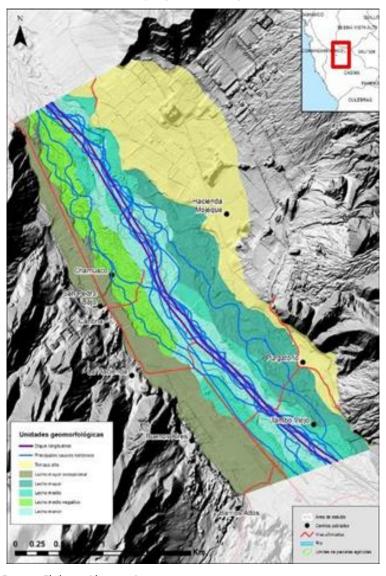


FIGURA 17. Mapa geomorfológico

Fuente: Elaboración propia.

ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO-HISTÓRICO

Sobre la base del análisis evolutivo y la geomorfología se realizó la zonificación de peligros, así como la identificación del límite superior de la ribera. Con esta información se asume como avenidas máximas ordinarias el caudal estimado para períodos de retorno de 25 años que representan 183.29 m3/seg. Los eventos de 1961, 1972 y 1982 están por debajo de este caudal, sin embargo, son los más cercanos en relación a las inundaciones de 1998.

Según esto, la clasificación de peligros por inundaciones es la siguiente (Figura 18):

- Muy alto

Representado por el lecho menor artificial y el lecho menor natural. Se encuentra dentro del período de retorno de 25 años.



- Alto

Está dentro del período de retorno de 25 años, pero abarca también las terrazas que constituyen el lecho medio.

- Medio

Abarca terrenos que se encuentran muy significativamente por debajo del nivel del río, aunque hayan ocurrido inundaciones en los mismos, tanto en avenidas con un período de retorno menor a 25 años, como con mayores caudales.

- Вајо

Comprenden terrenos inundados durante eventos con un período de retorno de más de 50 años (como el FEN de 1998).

FIGURA 18 Peligros por inundaciones

Fuente: Elaboración propia.



El límite superior de la ribera estaría representado por los niveles muy alto y alto, puesto que están en relación con el período de retorno muy alto y alto, y también muestran evidencias de la huella máxima del río.

CONCLUSIONES

- En el Valle de San Rafael no hay influencia de la actividad torrencial en el tramo seleccionado, pues los abanicos aluviales activos no depositan material en la zona de actividad del río.
- El río presenta un patrón trenzado, se identificaron zonas inundadas en seis eventos de inundación entre 1961 y 2017, con zonas con mayor frecuencia de las inundaciones, a partir de las cuales fue posible también identificar unidades geomorfológicas. También fue posible identificar niveles de peligro en función a la relación entre unidades geomorfológicas y las máximas avenidas relacionadas a diferentes periodos de retorno.
- La construcción del dique longitudinal ha influido significativamente en el comportamiento hidráulico del río. Esto influyó de tal forma que las zonas que estaban hacia la margen izquierda del río fueron más afectadas en el año 2017.
- La faja marginal del río, delimitada el año 1999, presenta muchas coincidencias con el límite de la ribera del río. sin embargo, tiende a subestimar el área inundable (delimitada a partir del método hidrológico-hidráulico).
- Existe ocupación agrícola dentro de la faja marginal. Esto revela poco control sobre los usos y cómo deberían ser regulados en la misma.

ALCANCES PARA LA GESTIÓN

- Es necesario redimensionar la faja marginal en algunos tramos con la finalidad de mejorar la gestión del cauce actual, así como garantizar la conservación de los bosques ribereños.
- Es necesario redimensionar la distancia entre los diques longitudinales, debido a que los mismos podrían no tener la capacidad de los eventos de gran magnitud, existiendo una tendencia de sedimentación de estos.
- Se debe hacer un tratamiento integral de, al menos, la zona comprendida en la ribera del río. Esto implica restaurar el río, promover acuerdos para lograr la menor intervención posible y buscar mecanismos de compensación para los agricultores que podrían resultar afectados. Los principales elementos para un tratamiento integral son el redimensionamiento de diques longitudinales, la protección de bosques ribereños y la regulación de usos del suelo. Estos componentes permiten un acercamiento a condiciones naturales que garanticen el desarrollo evolutivo del río. Esta acción debe realizarse a nivel de toda la cuenca de acuerdo con las condiciones diferenciadas de cada tramo del río.
- Es necesario analizar en futuras investigaciones el papel de los bosques ribereños en el control de las inundaciones. Para ello, es necesario ampliar el tramo de estudio.
- En cuanto a las restricciones para el uso de este tipo de método, lo recomendable es combinar este modelo de estudio con estudios hidráulicos, pues son complementarios y en



su conjunto permiten un mejor conocimiento de las dinámicas del río en condiciones naturales y artificiales para tomar mejores decisiones.

BIBLIOGRAFÍA

- Apaclla Nalvarte, R. (2010). Estudio de máximas avenidas en las cuencas de la zona centro de la vertiente del Pacifico. Autoridad Nacional del Agua.
- Apéstegui, J., Macharé, J., Takahashi, K., Sifeddine, A., & Ortieb, L. (2015). *El Fenómeno El Niño durante el último milenio. Generación de información y monitoreo del Fenómeno El Niño*. Vol. 2 N° 2.
- Aybar, C., Lavado-Casimiro, W., Huerta, A., Fernández, C., Vega, F., Sabino, E., & Felipe-Obando, O. (2017). Uso del Producto Grillado "PISCO" de precipitación en Estudios, Investigaciones y Sistemas Operacionales de Monitoreo y Pronóstico Hidrometeorológico. Nota Técnica 001 SENAMHI-DHI-2017. Retrieved from
- Baig, M. H. A., Zhang, L., Wang, S., Jiang, G., Lu, S., & Tong, Q. (2013). *Comparison of MNDWI and DFI for water mapping in flooding season.* Paper presented at the Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2013 IEEE International.
- Ballarín Ferrer, D., & Rodríguez Muñoz, I. (2013). *Hidromorfología fluvial. Algunos apuntes aplicados a la restauración de ríos en la cuenca del Duero.*
- Dewitte, B., Takahashi, K., Goubanova, K., Montecinos, A., Mosquera, K., Illig, S., . . . Espinoza, J. (2014). Las diversas facetas de El Niño y sus efectos en la costa del Perú.
- DIREN-PACA. (2007). L'approche hydrogéomorphologique en milieux mediterranéens: Direction Régionale de l'Environnement Provence-Alpes-Côte dÁzur, Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire.
- French, A., & Mechler, R. (2017). *Managing El Niño Risks Under Uncertainty in Peru: Learning from the past for a more disaster-resilient future.*
- GeoEngineers. (2013). *Channel Migration Assessment*. Clallam County: Department of Ecology State of Washington.
- INRENA. (2007a). Estudio hidrológico en la Cuenca del río Casma.
- INRENA. (2007b). Inventario de fuentes de agua superficial en la cuenca del río Casma.
- Martínez, F. S., & Fernández, J. L. (2011). *Guía metodológica para el desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables.* Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino.
- Municipalidad Provincial de Casma. (2017). *Plan de Manejo del Complejo Arqueoastronómico de Chankillo*. Casma-Perú.
- Ojeda Couchoud, M., Sovero Sovero, H. F., Vargas, R., Pacha Vicente, C., & Pernas Canadell, J. (2015). *Perfil de riesgo por inundaciones en Perú*. (Vol. 844): Banco Interamericano de Desarrollo.
- SENAMHI. (2014). El Fenómeno El Niño en el Perú. Lima-Perú: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.





NIVEL DE EUTROFIZACIÓN DE LA LAGUNA SAN NICOLÁS (CAJAMARCA, PERÚ) APLICANDO TELEDETECCIÓN SATELITAL EN UN PERIODO DE 20 AÑOS

Deisy Lisset Carrasco Vela

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo determinar el nivel de eutrofización de la laguna San Nicolás en el departamento de Cajamarca mediante la teledetección. Con este propósito se utilizaron imágenes satelitales Landsat 5 y 8 para revisar los años 1998, 2008 y 2019. A estas imágenes se les aplicaron correcciones, índices y ecuaciones apoyadas con el software PCI Geomatics y fueron calibradas con pruebas de laboratorio. En este proceso se evaluaron el estado trófico, mediante concentraciones de turbiedad y clorofila "a", así como los parámetros fisicoquímicos y biológicos más representativos de calidad del agua. Hay una correlación significativa entre la turbiedad (UNT) con la turbiedad satelital (r = 0.98), la cl-a y la turbiedad satelital (r = 0.86), el disco de Secchi (transparencia) y el cl-a satelital (r = -0.70). Los resultados determinaron que, según la metodología de Carlson y el Índice de Estado Trófico (TSI), la laguna San Nicolás pasó de estado eutrófico a mesotrófico en un periodo de 20 años.

Por otro lado, los parámetros fisicoquímicos evaluados estaban dentro de los estándares de calidad ambiental para la Categoría 4 (Conservación del Medio Acuático) del DS-004-2017-MINAM. Por lo tanto, el estado mesotrófico de la laguna San Nicolás presenta un nivel intermedio de nutrientes que se deben monitorear continuamente para predecir amenazas de eutrofización.

PALABRAS CLAVES: teledetección, firma espectral, eutrofización, calidad de agua.

DATOS DE LA AUTORA

Ingeniera Ambiental, subgerente de Gestión Ambiental de la Municipalidad Provincial de San Marcos (Cajamarca)

carrascovelad@gmail.com

© Este artículo es de acceso abierto sujeto a la licencia Reconocimiento 4.0 Internacional de *Creative Commons*. No se permite un uso comercial de la obra original ni la generación de obras derivadas. Para más información, visite: *https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/*



ABSTRACT

The objective of this research was to determine the level of eutrophication of the San Nicolás lake in the department of Cajamarca by remote sensing. For this, Landsat 5 and 8 satellite images were used for the years 1998, 2008, and 2019, to which index corrections and equations supported by the PCI Geomatics software were applied and calibrated with laboratory tests. Trophic status is evaluated by turbidity and chlorophyll "a" concentration, followed by the most representative physicochemical and biological parameters of water quality. A significant correlation was obtained for turbidity (UNT) with satellite turbidity (r = 0.98), for cl-a and satellite turbidity (r = 0.86) and for the Secchi disk (transparency) and satellite cl-a (r = 0.70). The results determined that according to Carlson's methodology and the trophic state index (TSI), the San Nicolás lake changes from eutrophic to mesotrophic status over a period of 20 years. On the other hand, the physicochemical parameters evaluated were found within environmental quality standards for Category 4 (Conservation of the Aquatic Environment) of DS-004.2017-MINAM. Therefore, the mesotrophic state of the San Nicolás lake presents an intermediate level of nutrients that must be continuously monitored to predict eutrophication threats.

KEYWORDS: remote sensing, spectral signature, eutrophication, water quality.

© This article is of open access to the public and subject to the Creative Commons Attribution Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License. The commercial use of this original work and the production of derived works from this article is not allowed. For more information, please visit: https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/



INTRODUCCIÓN

Hoy en día, los cuerpos de agua son vulnerables a los efectos de la contaminación causados principalmente por la actividad antrópica y que traen como consecuencia la alteración de la capacidad de recuperación del ecosistema (Escobar, 2002). A nivel mundial, la carga de nutrientes y la eutrofización de los humedales siguen siendo los mayores problemas en materia de calidad del agua (Ramsar, 2018). El suelo erosionado de las tierras agrícolas tiene mayores efectos negativos sobre la calidad del agua, ya que transporta entre 23 y 42 millones de toneladas de nitrógeno y entre 15 y 26 millones de toneladas de fósforo a nivel global (FAO, 2015).

Conocer el estado trófico del recurso hídrico es una de las necesidades más importantes de una región. Al saber su estado se aprovecha mejor el recurso ya sea para fines agrícolas, de consumo humano, de conservación del ambiente acuático, preservación de la diversidad y como estrategia para potencializar el desarrollo del turismo en la zona. La carga de nutrientes desde las zonas agropecuarias, junto a las urbanizaciones son los factores que en su mayoría alteran el estado trófico de un lago o laguna, cambiando desde un estado "claro" a uno "turbio" altamente eutrófico. (Quiróz et al., 2006).

Gonzales & Mendoza (2019) describen a las tecnologías actuales de teledetección como aquellas que nos muestran datos y herramientas de observación de la Tierra para inspeccionar los cambios de cobertura de suelo y agua, mostrar alertas ante amenazas ecológicas, gestionar el territorio y monitorear la diversidad ecosistémica sin necesidad de estar en la zona de estudio.

Bonansea, et al., (2012) utilizó imágenes satelitales CBERS – 2B y los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para modelar la distribución espacial de la eutrofización a través de las concentraciones de clorofila -a y la transparencia del agua del embalse, también midió parámetros fisicoquímicos y biológicos durante el año 2008. De acuerdo con los valores de reflectancia de las bandas del satélite, fue posible identificar la relación entre la variable clorofila – a y el límite de la zona fótica en todo el reservorio, además, con una combinación de bandas estableció ecuaciones para Cl-a =32.71*b2 + 0.45*b3 – 45.02 y para z-fot = 0.01*b1 – 1.02*b4 + 40.96. Todo esto nos llevó a la conclusión de que existe una correlación negativa entre la clorofila-a y la transparencia del agua del embalse en estudio.

El proceso natural de envejecimiento de los lagos se denomina eurotrofización. Según Ramalho (2003) esto ocurre por "el enriquecimiento de nutrientes, con presencia de microalgas que terminan consumiendo el oxígeno que otros seres vivos necesitan para subsistir". La eutrofización está relacionada con la demanda química de oxígeno y demanda biológica de oxígeno (DQO y DBO) que expresan la cantidad de oxígeno que necesaria para que el ecosistema consuma una cantidad determinada de un contaminante (Vallejo, 2012).

Ramalho (2003) sostiene que el grado de contaminación y la concentración de oxígeno disuelto en el agua (OD) también establecen una relación. Los niveles más altos de oxígeno disuelto indican una mejor calidad del recurso, además, a mayor cantidad de materia orgánica en el agua, mayor oxígeno necesitan los microrganismos para oxidarla. Por otro lado, Ramalho también menciona que la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica biodegradable y la demanda química de oxígeno (DQO) es la cantidad de oxígeno consumido en la oxidación de contaminantes. Según Vallejo (2012), ambos son indicadores en procesos de control de calidad del agua y cuanto mayor sea la DBO y DQO en el agua, mayor será la



cantidad de oxígeno necesario para que los organismos aerobios del agua procesen ese nutriente. Si toman valores muy altos la presencia en exceso de nutrientes provocará la eutrofización consumiendo todo el oxígeno y alterando la cadena trófica de ese ecosistema. Otro indicador de la eutrofización es la medida de la transparencia de las aguas y de su color. Si el agua está verde y la luz solo es capaz de atravesar unos pocos metros de la columna de agua, habrá eutrofización.

La laguna San Nicolás se encuentra en la provincia de Cajamarca y constituye uno de los atractivos turísticos más visitados de la provincia, y uno de los principales destinos para el avistamiento de aves. Por este motivo, es importante determinar el estado trófico de la laguna para su conservación. La existencia de la laguna San Nicolás garantiza el mantenimiento del servicio ecosistémico paisajístico de la zona que se sustenta en la actividad turística.

La ubicación y extensión de la laguna permite el uso de sensores remotos y la aplicación de softwares. Este es el caso de PCI Geomatics, un software usado para estimar los parámetros fisicoquímicos de calidad del agua (turbiedad y Clorofila a) que permitan clasificar el nivel trófico de la laguna y generar bases para una adecuada gestión de los recursos hídricos con acciones de recuperación y restauración de los ecosistemas.

ÁREA DE ESTUDIO

La laguna San Nicolás está ubicada en el distrito de Namora en la provincia de Cajamarca y a 30 kilómetros de la ciudad de Cajamarca. Las actividades más resaltantes en el área de estudio son el turismo, actividad agrícola y pecuaria. La laguna San Nicolás está a una altitud de 2800 m.s.n.m. y cuenta con 108 hectáreas. Las coordenadas de su punto central son 7°14'08"S y 78°21'14"O.

Mapa de ubicación

TORRES

TORRES

Mapa de ubicación

TORRES

TORRES

Mapa de ubicación

TORRES

TORRE

FIGURA 1.

Fuente: Google Earth



TABLA 1.Coordenadas UTM de los puntos de muestreo

Vértices	Este	Norte	Zona
P1	792516	9199602	17M
P2	793346	9199269	17M
Р3	793558	9199508	17M
P4	793860	9199140	17M
P5	796520	9199022	17M

Fuente: Elaboración propia.

METODOLOGÍA Y FUENTES DE INFORMACIÓN

Este trabajo constituye una investigación descriptiva. Según la naturaleza de datos, es cuantitativa y según la manipulación de la variable es experimental.

POBLACIÓN Y MUESTRA

De acuerdo con la delimitación de la laguna San Nicolás, la población tiene un área de 108 hectáreas aproximadamente. La muestra seleccionada comprende 5 puntos del espejo de agua que se determinaron sobre la base de la firma espectral según el índice del estado trófico IETChl-a de la laguna.

FIGURA 2. Flujograma metodológico NIVEL DE EUTROFIZACIÓN DE LA LAGUNA SAN NICOLÁS CAJAMARCA APLICANDO TELEDETECCIÓN SATELITAL EN UN PERIODO DE 20 AÑOS METODOLOGÍA 1. Campo 2. Gabinete 1.1. Visita técnica de reconocimiento 2.1. Ubicación y delimitación del área de 1.2. Muestreo de agua estudio. 2.2. Descarga de imágenes satelitales USGS. - Pruebas de laboratorio 2.3. Procesamiento de imágenes satelitales en PCI GEOMATICS. Parámetros Biológicos 2.4. Post procesamiento y análisis de Parámetros fisicoquímicos: Coliformes termotolerantes resultados. Aniones Clorofila a Nitrógeno amoniacal Demanda Química de Oxígeno-Oxígeno disuelto Turbiedad Resultados finales Fuente: Elaboración propia



TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

Estas fueron las técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos utilizadas:

Materiales: Disco de Secchi, material de muestreo, libreta de apuntes, GPS.

Software: PCI Geomatics y ArcGIS.

TRABAJO DE CAMPO

El trabajo de campo se desarrolló en julio y agosto del 2019 con el objetivo de correlacionar los datos obtenidos del muestreo de la fecha realizada con los datos obtenidos de las imágenes de satélite. En las visitas semanales se realizó el reconocimiento de la zona de estudio, la cobertura del suelo y del agua, los cultivos y la población. Durante el recorrido se observó que la laguna San Nicolás no tiene problemas de contaminación por residuos sólidos o descargas de efluentes.

Sin embargo, en la laguna se pudo apreciar la siembra de algunos cultivos y actividad ganadera en el punto 3 de la laguna (Figura 1), también se evidenció presencia de algunas floraciones y un cambio de color que va de "turbio" a "claro" en los puntos 2 y 3. Asimismo, se observó la presencia significativa de matara o totora (*Scirpus californicus*), una especie vegetal que es extraída por los pobladores para construir embarcaciones, elaborar petates, carteras o sombreros, actividades claves que incentivan el turismo local.

PRUEBAS DE LABORATORIO

Para esta investigación se ha optado por analizar turbiedad y clorofila a para conocer el estado trófico de la laguna. Además, se han analizado parámetros fisicoquímicos y biológicos del agua para conocer si los resultados se encontraban dentro de los estándares de calidad ambiental que exige la normativa del Ministerio de Ambiente (MINAM). Los parámetros considerados se pueden observar en las tablas 2 y 3.

TABLA 2. Parámetros fisicoquímicos considerados

Parámetro	Unidad
Fluoruro, Cloruro, Nitrito Bromuro, Nitrato, Sulfato, Fosfato	mg/L
°pH a 25 °C	рН
Dureza Total	mg/L
Nitrógeno Amoniacal	mgN-NH₃/L
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O₂/L
Conductividad	uS/cm
Color Verdadero	UC
Oxígeno Disuelto	mg O₂/L
Turbiedad	UNT

Fuente: Laboratorio Regional del Agua.



TABLA 3.Parámetros biológicos considerados

Parámetro	Unidad
Coliformes Termotolerantes	NMP/ mL
Clorofila a	mg/L

Fuente: Laboratorio SGS.

PROCESAMIENTO DE IMÁGENES SATELITALES

En este estudio se utilizaron imágenes Landsat 5 para los años 1998 (7 de julio), 2008 (2 de julio) y Landsat 8 para el 2019 (2 de agosto). La selección de las fechas estuvo relacionada con la escasa nubosidad y con las fechas de muestreo. La descarga se realizó del servidor Earth Explorer de United States Geological Survey (USGS).

Para el procesamiento de las imágenes se realizó una selección o recorte del área de estudio. Después se hizo la conversión a radiancia y luego a reflectancia superficial, considerando la corrección atmosférica, a través del algoritmo ATCOR Ground Reflectance a nivel del terreno procurando eliminar la mayor cantidad de vapor de agua y aerosoles. Una vez corregida la imagen, se calcularon los índices para cada imagen.

Los índices de vegetación son combinaciones de las bandas espectrales registradas por los satélites. Su labor es realzar la vegetación en función de su respuesta espectral y atenuar los detalles de otros elementos como el suelo, la iluminación y el agua. Son imágenes calculadas a partir de operaciones algebraicas entre distintas bandas espectrales. El resultado de estas operaciones permite obtener una nueva imagen donde se destacan gráficamente determinados píxeles relacionados con parámetros de las coberturas vegetales. En la Tabla 4 podemos revisar cuáles fueron los índices de vegetación utilizados para los cálculos señalados.

TABLA 4. Índices de vegetación utilizados

Índice	Fórmula	Referencia
Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)	$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}$	Rouse et al., 1974
Índice diferencial de agua normalizado (NDWI)	$NDWI = \frac{(GREEN - NIR)/(GREEN + NIR)}{(GREEN + NIR)}$	Gao, 1996
Índice de relación de clorofila pigmentada normalizada (NPCRI)	$NPCRI_{L5} = \frac{Band_3 - Band_1}{Band_3 + Band_1} Landsat 5 TM$	GU, 2019



Índice	Fórmula	Referencia
Índice de vegetación de diferencia normalizada verde (GNDVI)	$GNDVI = \frac{(NIR - GREEN)}{(NIR + GREEN)}$	Gitelson et al. 1996
Ratio vegetation index (RVI)	$RVI = \frac{NIR}{RED}$	Pearson & Miller, 1972
Green vegetation index (GVI) O GRVI	$GVI = \frac{NIR}{GREEN}$	Sripada, 2005
Índice de diferencia normalizada verde-rojo (NGRDI)	$NGRDI = \frac{(GREEN - RED)}{(GREEN + RED)}$	Gitelson et al.,2002
Green coverage index (GCI)	$GCI = \left(\frac{NIR}{Green}\right) - 1$	EOS, 2019

Nota. Estos contenidos fueron organizados a partir de las referencias citadas en la tabla.

Como se aprecia en la Tabla 5, para determinar los criterios de calidad de agua y eutrofización se utilizaron parámetros de calidad de agua extraídos de la investigación desarrollada por Figueroa et al, (2015).

TABLA 5. Índices de parámetros de calidad de agua utilizados

Índice	Fórmula
Demanda bioquímica de oxígeno	DBO L5 = 1.79 - 0.789 * (B1) + 52.36 * (B2) - 3.28 * (B3) $DBO L8 = 1.79 - 0.789 * (B2) + 52.36 * (B3) - 3.28 * (B4)$
Demanda química de oxígeno	DQ0 L5 = 2.76 - 17.27 * (B1) + 72.15 * (B2) - 12.11 * (B3) $DQ0 L8 = 2.76 - 17.27 * (B2) + 72.15 * (B3) - 12.11 * (B4)$
Índice del estado trófico de clorofila	$IET Chl - a \mathbf{L5} = 43.46 + 142.2 * (B3) + 104.54 * \left(\frac{B5}{B3}\right) - 418.55 * (B5)$ $IET Chl - a \mathbf{L8} = 43.46 + 142.2 * (B4) + 104.54 * \left(\frac{B6}{B4}\right) - 418.55 * (B6)$
Concentración de clorofila	Chl - a $L5 = -1.69996 + 990.717 * (B1 * B1) - 4655.07 * (B1 * B4) + 6363.27 * (B4 * B4)$ $Chl - a$ $L8 = -1.69996 + 990.717 * (B2 * B2) - 4655.07 * (B2 * B5) + 6363.27 * (B5 * B5)$ $Cl - a$ $L5 = 32.71 * B2 + 0.45 * B3 - 45.02$ $Cl - a$ $L8 = 32.71 * B3 + 0.45 * B4 - 45.02$ $z - fot = 0.01 * B1 - 1.02 * B4 + 40.96$ (Parámetro opcional de zona fótica -CBERS2B)



Índice	Fórmula
Turbiedad	T L5 = 6.1437 * (B2) - 2.702 * (B3) + 5.1736 * (B4) - 5.8274 * (B5) $T L8 = 6.1437 * (B3) - 2.702 * (B4) + 5.1736 * (B5) - 5.8274 * (B6)$
Índice del estado trófico	IET L5 = -2.6047 * (B2) + 0.5671 * (B3) + 2.9817 * (B4) $IET L8 = -2.6047 * (B3) + 0.5671 * (B4) + 2.9817 * (B5)$

Fuente: Figueroa et al, (2015).

Una vez obtenidos los valores de diferentes índices y ecuaciones de eutrofización de los años 1998 y 2008 se procedió a evaluar el año 2019. Con estos valores se realizó una calibración con los resultados de laboratorio. Posteriormente, se realizaron correlaciones con los índices que más se acercaron a la realidad y que estuvieron más relacionados con eutrofización, los cuales fueron obtenidos por teledetección y que se muestran en los resultados. Esto permitió identificar los índices más adecuados para la distribución del nivel trófico de la laguna San Nicolás.

RESULTADOS

Índices de vegetación

Los valores obtenidos del NDVI (-1 a 1), contrarios al NDWI, describen el contenido de agua en la planta. Los valores negativos están asociados a zonas de agua y los positivos a presencia de vegetación. Esto significa que cuanto más cercano es a 1, la zona de agua es más saludable. En la Tabla 6 se observa que, en su mayoría, los puntos de muestreo para el año 1998 corresponden a presencia de vegetación, excepto el punto 4, que es cobertura de agua (Figura 3 y Figura 4). Morillo, et al., (2018) encontraron que los valores calculados mediante el NDVI son más precisos y permiten observar claramente las zonas de productividad primaria que puedan existir en un lago.

TABLA 6.Resultados del Índice de Vegetación Normalizada (NDVI) e Índice de Agua Normalizada (NDWI)

	AÑO						
Puntos	19	1998 2008		08	2019		
Funtos	NDVI	NDWI	NDVI	NDWI	NDVI	NDWI	
P1	0.407	-0.405	-0.081	0.044	-0.265	0.437	
P2	0.704	-0.669	-0.081	0.159	-0.466	0.628	
Р3	0.250	-0.429	0.484	-0.629	0.443	-0.509	
P4	-0.128	0.463	0.028	0.044	-0.378	0.568	
P5	0.356	-0.288	0.480	-0.321	0.257	-0.255	

Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 3.Mapa de distribución del NDVI para el año 2019

Fuente: Imagen satelital obtenida de Earth Explorer-USGS.

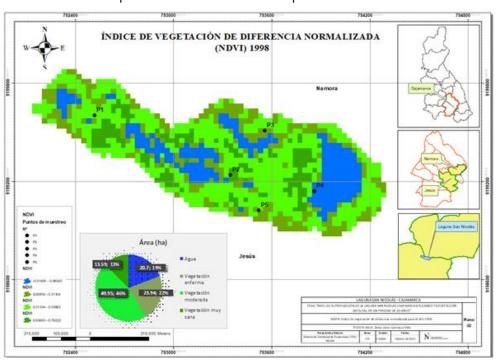


FIGURA 4.Mapa de distribución del NDVI para el año 1998

Fuente: Imagen satelital obtenida de Earth Explorer-USGS.



El coeficiente de correlación de Pearson de los valores de reflectividad del NDVI para los años 1998, 2008 y 2019 indica que existe una correlación negativa muy baja para los años 1998 y 2008 (r = -0.1873255), y para los años 1998 al 2019 una hay una correlación negativa casi nula (r = -0.11233638). Sin embargo, existe una correlación positiva muy alta para los años 2008 y 2019 (r = 0.95847378). Sobre la correlación para el NDWI, hay una correlación positiva muy baja para 1998 y 2008 (r= 0.12743203) y es similar para los años 1998 y 2019 (r= 0.21107045). Para los años 2008 y 2019, existe una correlación positiva casi perfecta (r= 0.98140164).

El índice de relación del pigmento de clorofila normalizada (NPCRI) tiene una escala de -1 a 1. Los valores de 0.3 en adelante indican la presencia de clorofila. Tal como se muestra en la Tabla 6, en la actualidad solo el punto 4 y el punto 5 están en el límite de cuantificación de clorofila. Mientras que, en el año 1998, la mayor parte del área de la laguna tiene valores mayores a 0.3 evidenciando la presencia de vegetación sobre la superficie de agua. Existe una correlación positiva alta para 1998 y 2008 (r = 0. 72078535). Sin embargo, para los años de 1998 y 2019 la correlación es moderada (r = 0.5113861) y para los años 2008 y 2019 hay una correlación positiva casi nula (r = 0.01401355).

TABLA 7.Resultados del índice de relación del pigmento de clorofila normalizada (NPCRI)

		AÑO	
NPCRI	1998	2008	2019
P1	0.383	0.612	0.108
P2	0.519	0.988	0.149
Р3	0.473	0.496	0.346
P4	0.025	0.379	0.106
P5	0.451	0.741	0.336

Fuente: Elaboración propia.

El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada Verde (GNDVI) presenta valores en el rango de -1 y 0. Para el año 2019, tal como se observa en la Tabla 8, la mayoría de los puntos indican zonas con agua, mientras que en 1998 solo se realza la vegetación. Por otro lado, la Ratio Vegetation Index (RVI) muestra valores -1 a 1; los valores positivos a partir de 1 ayudan a visualizar solo cobertura vegetal. El Green Vegetation Index (GVI) O GRVI enfatiza la vegetación verde con valores positivos.

En cuanto al GNDVI, hay una correlación positiva casi nula para los años 1998 y 2008 (r = 0.12743287), mientras que los años 1998 y 2019 tienen una correlación moderada (r = 0.21107045). Para los años 2008 y 2019, aparece una correlación positiva casi perfecta (r = 0.98140174). En el caso del RVI, existe una correlación negativa moderada para 1998 y 2008 (r = -0.36837322), algo similar ocurre para los años de 1998 y 2019 (r = -0.36325495); mientras que para los años 2008 y 2019 hay una correlación positiva (r = 0.94138881). Para el caso del GVI existe una correlación negativa casi nula para los años 1998 – 2008 y para los años 1988 – 2019 (r = -0.07867468, r = -0.08780681, respectivamente); mientras que para los años 2008 y 2019 hay una correlación positiva casi perfecta (r = 0.98118652).



TABLA 8.Resultados del GNDVI, RVI y GVI

AÑO									
Puntos		1998			2008			2019	_
	GNDVI	RVI	GVI	GNDVI	RVI	GVI	GNDVI	RVI	GVI
P1	0.405	2.375	2.362	-0.044	0.849	0.915	-0.437	0.580	0.391
P2	0.669	5.779	5.048	-0.159	0.849	0.724	-0.628	0.364	0.228
Р3	0.429	1.668	2.507	0.629	2.880	4.39	0.509	2.596	3.078
P4	-0.463	0.771	0.366	-0.044	1.058	0.915	-0.568	0.450	0.275
P5	0.288	2.106	1.809	0.321	2.849	1.949	0.255	1.693	1.687

Fuente: Elaboración propia.

El Índice de Diferencia Normalizada Verde–Rojo (NGRDI), contrario a otros índices, indica presencia de agua cuando el valor es mayor a 0.0. El Green Coverage Index (GCI) muestra masas de agua (valores negativos), contenido de clorofila en vegetación enferma (0 a 1), vegetación moderada (1 a 2.9) y vegetación saludable (2.9 a 9.8). En la Tabla 9 se puede apreciar que hace dos décadas en la mayoría de los puntos de muestreo se encontraba vegetación, especialmente el punto 2, que es el centro de la laguna. Para los años de 1998 y 2019 existe una correlación alta (r = 0.71043146).

En el caso del GCI hay una correlación negativa muy baja para 1998 y 2019 (r= -0.08780647). Sin embargo, para el 2008 y 2019 existe una correlación positiva casi perfecta (r= 0.98065284).

TABLA 9. Resultados del NGRDI y el GCI

	1998		200)8	2019	
Puntos	NGRDI	GCI	NGRDI	GCI	NGRDI	GCI
P1	0.003	1.362	-0.037	-1.137	0.194	-0.608
P2	0.068	4.048	0.079	-1.565	0.230	-0.776
Р3	-0.201	1.507	-0.208	5.984	-0.084	2.078
P4	0.355	-0.63	0.072	-1.137	0.241	-0.724
P5	0.076	0.809	0.187	0.951	0.001	0.687

Fuente: Elaboración propia.

Parámetros de calidad de agua y eutrofización

Los resultados obtenidos muestran variabilidad entre los años 1998 al 2019 (Tabla 10), reduciéndose las concentraciones de DBO, excepto en el punto 5, en el que la concentración ha aumentado. Las concentraciones de DQO han disminuido notablemente en el período de 20 años lo que es un claro indicador de la mejora de calidad de agua de la laguna.



TABLA 10. Resultados de DBO Y DQO

	AÑO										
Puntos –	199	8	200	8	2019						
i unicos –	DBO	DQO	DBO	DQO	DBO	DQO					
P1	122.728	132.874	80.843	91.585	82.656	91.570					
P2	80.239	93.180	103.608	129.598	78.168	89.229					
Р3	348.196	331.908	98.235	94.739	118.448	119.023					
P4	149.354	174.173	81.812	92.121	85.633	97.117					
P5	102.159	117.1	104.587	130.365	109.928	117.195					
Promedio	175.129	183.034	91.125	102.011	91.227	99.235					

Fuente: Elaboración propia.

El índice del estado trófico de la laguna es uno de los principales indicadores de la variabilidad de concentraciones de clorofila a (cl-a) en el agua. En la Tabla 11 se muestran los valores de cl-a obtenidos por teledetección para el período de 20 años con una disminución del contenido del pigmento fotosintético, debido a que en 1998 la vegetación abarcaba la mayor parte de la laguna, superando a los actuales, a excepción del punto 5, que muestra una anomalía en las reflectancias.

La disminución de la cl-a en los años 1998 y 2019 es un claro indicador de recuperación del cuerpo de agua. Los valores obtenidos se aplicaron a las ecuaciones propuestas por Carlson para conocer el estado trófico desde 1998 hasta 2019 obteniendo los resultados del TSI, que evidencian una recuperación en el cuerpo de agua, pasando de estado eutrófico a mesotrófico en un período de 20 años.

TABLA 11.Resultados del Índice del Estado Trófico (TSI) promedio para el período de 20 años

		Clorofila - a (Teledetección)													
Puntos ⁻ de		199	8		200	08	2019								
Muestreo	cl – a	TSI	Estado Trófico	cl - a	TSI	Estado Trófico	cl - a	TSI	Estado Trófico						
P1	37.24	66.09	Eutrófico	8.952	52.1	Mesotrófico	8.676	51.6	Mesotrófico						
P2	7.68	50.6	Mesotrófico	22.97	61.34	Eutrófico	5.442	47.22	Mesotrófico						
Р3	201.0	82.63	Eutrófico	23.59	61.61	Eutrófico	35.75	65.68	Eutrófico						
P4	51.29	69.23	Eutrófico	8.796	51.93	Mesotrófico	10.33	53.51	Mesotrófico						
Promedio	74.31	67.14	Eutrófico	16.08	56.74	Mesotrófico	15.05	54.50	Mesotrófico						

Fuente: Elaboración propia.

Los datos de turbiedad han disminuido con el pasar de los años. Esto indica una mejora en la transparencia del agua, tal como se muestra en la Tabla 12. La zona fótica nos muestra la



profundidad en relación a la turbiedad, indicando que el cuerpo de agua se está recuperando en cuanto a la transparencia. En cuanto a la turbiedad, existe una correlación negativa para los años 1998 y 2019 (r = -0.9) y para el caso de z-fot hay una correlación positiva alta para 1998 y 2019 (r = 0.8).

TABLA 12. Resultados de turbiedad y z- fot

			AÑO)						
Puntos	1998		2008	8	2019					
runtos	Turbiedad	z-fot	Turbiedad	z-fot	Turbiedad	z-fot				
P1	33.643	34.993	4.658	39.445	7.480	40.319				
P2	16.037	32.766	7.291	39.441	6.959	40.610				
Р3	-35.714	22.147	36.251	31.751	14.44	33.345				
P4	14.513	39.878	10.360	39.447	7.895	40.496				
P5	16.659	37.208	22.836	36.876	8.732	37.149				

Fuente: Elaboración propia.

Respecto a los resultados de laboratorio, los puntos 2 y 3 presentan baja Demanda Química De Oxígeno (DQO) y el punto 4 una demanda moderada. Los puntos 1 y 5 son los que mayor cantidad de oxígeno consumen por la oxidación de contaminantes. En cuanto al Oxígeno Disuelto (OD), los valores muestran que el punto 4 y 5 son los que tienen mayor concentración de oxígeno y presentan menos contaminación, mientras que el punto 3 tiene una concentración crítica de oxígeno, es decir, que es tan baja que no es posible la presencia de organismos.

Las concentraciones de aniones son mínimas y están por debajo del límite de cuantificación del método. El contenido de fluoruro y cloruro también son bajos en todos los puntos de muestreo, lo que es un buen indicador de calidad de agua. Los nitratos y fosfatos en altas concentraciones son indicadores de eutrofización a causa de los aportes de aguas residuales descargadas a los cuerpos de agua (Díaz y Sotomayor, 2013).

Los valores de pH y color son casi constantes en todos los puntos de muestreo, a excepción del punto 3 que muestra un ligero cambio, que no se consideran alarmantes y son aceptables según los Estándares de Calidad Ambiental para la conservación del ambiente acuático categoría 4, subcategoría E1 (lagunas y lagos).

Los valores de coliformes termo-tolerantes indican que el punto 1 es el que tiene mayor concentración. Esto se debe a que esa zona es muy utilizada como bebida de ganado y estos, al eliminar sus heces, aumentan los niveles de las bacterias coliformes en el agua.

Los datos de turbiedad muestran los mayores valores en el punto 3, muy contrario al punto 2, ubicado en el centro de la laguna, donde se encuentra la zona con mayor transparencia. El disco de Secchi determinó que las profundidades tienen relación con los cambios en las concentraciones de clorofila, tal como ocurre con el punto 3 que es el de mayor concentración de cl-a (35.74) para el 2019. Los resultados de las concentraciones de clorofila en laboratorio fueron tan bajas que no se logró evidenciar algún cambio en ninguno de los puntos de muestreo.



La conductividad eléctrica y la dureza tuvieron valores constantes en casi todos los puntos de muestreo, a excepción del punto 3, que es la zona con menor transparencia de toda la laguna, que alcanzó un valor de 250 µS/cm para conductividad y 287.3 mg/L para dureza.

Calibración

Para realizar la calibración se utilizaron datos de clorofila A de laboratorio y datos de satélite. Sin embargo, todos los resultados en los 5 puntos de muestreo de campo fueron iguales, por lo que no se pudo realizar la calibración con dicho parámetro. Pero, se optó por utilizar los datos de turbiedad (UNT) y DQO. Con la correlación positiva casi perfecta (R2= 0.9702) se demostró que existe un gran potencial del sensor satelital para obtener datos de turbiedad en la laguna San Nicolás, así como también en el caso de DQO (R2= 0.9404).

Para relacionar los valores de clorofila A (Cl-a) obtenidos por satélite con los de campo se utilizaron los resultados de laboratorio de Clorofila A y turbiedad (disco de Secchi) en las ecuaciones del índice del estado trófico (TSI), propuesto por Carlson (1977). Luego, se compararon los datos de satélite a la escala de valores del estado trófico de 1 al 100.

Teniendo en cuenta los valores de turbiedad obtenidos por el satélite se realizó la clasificación trófica con el promedio de cada año. Según los resultados obtenidos, la laguna San Nicolás pasa de un estado eutrófico a mesotrófico de acuerdo a la transparencia del disco de Secchi.

Discusión

La interpretación de resultados está centrada en los parámetros de eutrofización, tales como clorofila A, turbiedad, fosfatos y nitratos. Estos dos últimos tuvieron valores mínimos por debajo del límite de cuantificación del método, es decir, el laboratorio no pudo reportar dichos resultados. Los valores de clorofila A obtenidos en laboratorio para los cinco puntos de muestreo fueron iguales (0.003mg/L) y, de acuerdo con la escala del nivel trófico establecido por Carlson (1977), ubican a la laguna en un estado mesotrófico (Figura 5). Así mismo, aplicando la metodología del índice del estado trófico (TSI) para clorofila A se obtuvo como resultado TSI = 41.38, lo que indica que la laguna San Nicolás se encuentra en un estado mesotrófico.

FIGURA 5. Distribución de clorofila A en el período 1998 - 2019- teledetección 120 100 TSI Cl-a (Carlson, 1977)



Fuente: Elaborado con información de Carlson (1977).



Las concentraciones de cl-a obtenidas por teledetección y clasificadas según Carlson (1977), así como el TSI cl-a, indican que la laguna San Nicolás ha pasado de estado eutrófico a mesotrófico en un período de 20 años. Esto significa que el cuerpo de agua se está recuperando y actualmente tiene niveles moderados de nutrientes.

El procesamiento en las bandas de las imágenes satelitales para zona fótica (z-fot) relacionó a este indicador de calidad de agua con cl-a y turbiedad. Margalef (2002) citado por Bonansea et al. (2012) define al límite de la zona fótica como la profundidad en la cual la intensidad de la luz está muy por debajo del lugar para los procesos de fotosíntesis. Mientras menor sea el límite de la zona fótica, menor será la transparencia y un lago eutrofizado con crecimientos masivos de algas impiden la penetración de la luz en la superficie dando valores bajos de z-fot.

Bonansea, et al., (2012), a través de modelos de regresión, determinaron la distribución espacial de la eutrofización y concluyeron que existe una correlación negativa entre la concentración de clorofila -a y la transparencia del agua del embalse, similar para la correlación de cl-a y z-fot del presente estudio en la laguna San Nicolás (r= -0.96).

En función del TSI para el disco de Secchi, la laguna San Nicolás se encuentra en un nivel mesotrófico para los puntos 1, 2, 4 y 5 con valores de TSI de 54.64, 49.31, 69.42 y 60.29, respectivamente. Sin embargo, el punto 3 tiene un TSI de 77.35, lo que muestra un estado eutrófico debido a la actividad ganadera.

En relación a los resultados de los parámetros fisicoquímicos obtenidos como pH y conductividad eléctrica, se obtuvo un promedio de 8.052, y 243.4 µS/cm, respectivamente. El incremento de la conductividad eléctrica en el agua, está determinada por la mayor presencia de sólidos suspendidos y la transparencia, lo cual nos indica un mayor nivel de iones en solución producto de los procesos eutróficos que se generan en el ecosistema lagunar (Díaz y Sotomayor, 2013).

En cuanto al oxígeno disuelto, los puntos 4 y 5 fueron los únicos que cumplieron con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para aguas. El punto 3 contiene menor OD y esto se debe al aporte de la actividad antrópica, al ganado y a sus heces que son vertidas en la zona en cuestión, y que son descompuestos por bacterias aeróbicas. Sin embargo, el promedio de OD en los puntos de muestreo fue inferior al mínimo exigido.

Los valores de color verdadero no sobrepasaron los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, lo que considera categoría 4 (Conservación del ecosistema acuático) y subcategoría E1 (Lagos y lagunas). Si estos valores sobrepasan los ECA de color impedirán el paso de luz para el desarrollo de la biodiversidad (DIGESA, 2009).

Las concentraciones de aniones se encuentran por debajo del límite de cuantificación del método (<LCM), a excepción del Fluoruro y Cloruro, que en promedio se obtuvo 0.339 mg/L y 2.084 mg/L, respectivamente, y que al compararse con los ECA para agua resultan aptos para riego de vegetales.

La dureza cumplió con los ECA, lo que determina que es apta para usarse en la producción de agua potable (con desinfección), mientras que los Coliformes Termotolerantes cumplen la categoría 3 (Riego de vegetales y bebida de animales) y 4 (Conservación del ambiente acuático).

Los resultados obtenidos de demanda química de oxígeno (DQO) y turbiedad demuestran que es apta para la Categoría 1, subcategoría B – B1 (aguas superficiales destinadas para la recreación, contacto primario). En función de estos parámetros se concluye que la calidad de agua de la laguna



San Nicolás es aceptable, ya que a mayor DQO y turbiedad, más contaminante es la muestra, lo que no sucede con nuestros resultados.

CONCLUSIONES

- En esta investigación se determinaron parámetros de calidad de agua, tales como DBO, DQO, índice de estado trófico de clorofila (IETChla), turbiedad (T) y clorofila A (cl-a) mediante técnicas de teledetección los años 1998 y 2019, que disminuyeron notablemente sus concentraciones en función del tiempo, hecho que indican la mejora de calidad del agua de la laguna.
- Los resultados obtenidos por teledetección satelital que tuvieron más relación con los valores de cl-a son el DBO (r = 0.99), GCI (r = 0.97), NGRDI (r = -0.98), GVI (0.97), RVI (r = 0.98), GNDVI (0.99), NPCRI (r = 0.95), NDWI (r = -0.99) y NDVI (r = 0.98).
- Es posible contrastar los resultados obtenidos de clorofila A, turbiedad, DQO mediante teledetección con muestreos de campo, a través de una correlación de parámetros, obteniendo (r= 0.9850) para turbiedad satelital y turbiedad (UNT) con respecto a las concentraciones de clorofila a satelital (cl-a). Además, se demostró que es el parámetro más confiable para establecer el estado trófico del cuerpo de agua, ya que los resultados constantes de laboratorio < 3 ug/L ubicaron a la laguna en estado mesotrófico al igual que los valores satelitales de cl-a (15.048).
- En este estudio se concluye que fue posible determinar el nivel de eutrofización de la laguna San Nicolás aplicando teledetección satelital en un período de 20 años. Según la clasificación trófica de Carlson, el promedio de clorofila a (cl-a) muestra que la laguna pasa de estado eutrófico (cl-a = 74.3076) a mesotrófico (cl-a = 15.0483) y de acuerdo al promedio de la transparencia del disco de Secchi, también pasa de un estado eutrófico a mesotrófico (T = 21.3978 a T = 9.1941, respectivamente), evidenciando la disminución en las concentraciones de ambos parámetros. Esto indica la recuperación del cuerpo de agua debido a que la población y las autoridades de Namora han tomado conciencia de la adecuada gestión y conservación del recurso agua reduciendo la actividad ganadera y el vertimiento de desechos orgánicos ricos en fosfatos y nitratos aledaños a la laguna. Esta situación y el uso eficiente de fertilizantes en las actividades agrícolas potencian un turismo responsable y sostenible con el ambiente a través de monitoreos continuos de calidad de agua para identificar la presencia de algas y otros organismos contaminantes.

BIBLIOGRAFÍA

Bonansea, M., Ledesma, C., Rodriguez, C. & Sánchez, A. (2012). *Concentración de clorofila-a y límite de zona fótica en el embalse Río Tercero (Argentina) utilizando imágenes del satélite CBERS-2B.* En Ambiente & Agua, 7 (3), pp. 61 – 71. Recuperado de: http://www.scielo.br/pdf/ambiagua/v7n3/v7n3a06.pdf

Carlson, R. (1977). *A tropic state for lakes*. De Limnological Research Center, University of Minnesota, Minneapolis, 22 (2), pp. 361 -369. Recuperado de: https://aslopubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.4319/lo.1977.22.2.0361



- Díaz, A. & Sotomayor, L. (2013). Evaluación de la Eutrofización de la Laguna Conocoha Ancash a agosto de 2012. (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional Santiago de Antúnez de Mayolo. Ancash, Perú. Recuperado de: https://biorem.univie.ac.at/fileadmin/user_upload/p_biorem/education/research/publications/Theses/Tesis_Diaz_y_Sotomayor_2013.pdf
- Escobar, J. (2002). *La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar.* En Recursos Naturales e Infraestructura (diciembre, 2002). [En línea]. Recuperado de: https://archivo.cepal.org/pdfs/Waterguide/LCL1799S.PDF
- FAO. (2015). Estado Mundial del Recurso Suelo. En Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. [En línea]. Recuperado en 2016, de: http://www.fao.org/3/a-i5126s.pdf
- Figueroa, E., Márquez, O., Quiñonez, M. & Alatorre, L. (2015). *Estimación de Parámetros Relativos a la Calidad del Agua Mediante Percepción Remota en la Laguna de Bustillos, Chihuahua, México.* De Memorias de resúmenes en extenso SELPER, pp. 1- 6. Recuperado de: http://www.selper.org.mx/images/Memorias2015/assets/m008.pdf
- "Florida LAKEWATCH. (2010). *Trophic State: A Waterbody's Ability To Support Plants, Fish, and Wildlife.* [Folleto]. University of Florida." Recuperado de http://lakewatch.ifas.ufl.edu/
- Gao, B. (1996). *NDWI: un índice de agua de diferencia normalizada para la detección remota del agua líquida de la vegetación desde el espacio.* De Teledetección del Medio Ambiente, 58 (3), pp. 257 266. Recuperado de: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425796000673
- Gitelson, A., Kaufman Y. & Merzlyak, M. (1996). *Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS- MODIS.* En Remote Sensing of Environment, 58 (10), pp. 289 298. Recuperado de:
- https://nebraska.pure.elsevier.com/en/publications/use-of-a-green-channel-in-remote-sensing-of-global-vegetation-fro
- Gonzales, M. & Mendoza, E. (2019). *Introducción a la Teledetección*. Recuperado de: https://arset.gsfc.nasa.gov/sites/default/files/users/A50/EO4LM/EO4IM_Session_2_Espanol.pdf
- Morillo, G., Aldana, G., Pineda, A. & Royero, G. (2018). *Estimación de clorofila "a" en el Lago de Maracaibo, Venezuela utilizando imágenes LANDSAT 8.* En *Revista Mapping, 27 (188), pp. 1131 9100.* Recuperado de: http://revistamapping.com/wp-content/uploads/2018/07/Revista-MAPPING-188 A1.pdf
- Pearson, R. & Miller, L. (1972). Remote mapping of standing crop biomass for estimation of the productivity of the shortgrass prairie, Pawnee National Grasslands, Colorado. Estados Unidos.

 Recuperado de: https://www.worldcat.org/title/remote-mapping-of-standing-crop-biomass-for-estimation-of-the-productivity-of-the-shortgrass-prairie-pawnee-national-grasslands-colorado/oclc/32191266
- Raffo, E. & Ruíz, E. (2014). *Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno.*En Industrial Data, 17 (1), pp. 71-80. Recuperado de:
 https://www.redalyc.org/pdf/816/81640855010.pdf Ramsar. (2018). Perspectiva Mundial



Sobre los Humedales. Estado de los humedales del mundo y de los servicios que prestan a las personas 2018. En Convención de Ramsar sobre los Humedales. Recuperado de: https://static1.squarespace.com/static/5b256c78e17ba335ea89fe1f/t/5b9ffde60e2e7277f62 9f8df/1537211926308/Ramsar+GWO_SPANISH_WEB.pdf

Sripada P. (2005). Determining In-Season Nitrogen Requirements for Corn Using Aerial Color-Infrared Photography. (Tesis de doctorado). University Libraries, New York, Estados Unidos. Recuperado de: https://repository.lib.ncsu.edu/handle/1840.16/4200

- Ramalho, R. (2003). *Tratamiento de Aguas Residuales*. Barcelona: España. (Edicion Castellana)
 Recuperado de https://es.slideshare.net/IngAmbientalMX/tratamiento-de-aguas-residuales-rs-ramalho
- Rouse, J., Haas, H., Schell, A. & Deering, W. (1974). *Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS*. México, Texas. [Versión Electrónica]. Recuperado de: https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19740022614.pdf
- Vallejo, J. (2012). *Eutrofización: causas y efectos.* En Triplenlace. Recuperado el 27 de septiembre de 2012, de: http://triplenlace.com/2012/09/27/eutrofizacion-causas-y-efectos/



ANEXO 1.
Resultados de índices y parámetros de calidad de agua y eutrofización para el año 2019

Puntos de Muestreo	Disco S	z- fot	DBO	DQO	Turbiedad Sat	Cl-a	Chl-a	IETChl-a	GCI	NGRDI	GVI	RVI	GNDVI	NPCRI	NDWI	NDVI	Conduct (µS/cm)	(F ⁻) (mg/L)	(C ⁻) (mg/L)	° pH a 25°C (pH)	Durez a Total (mg/L)		Color Verdader o (UC)	Oxígeno Disuelto (mg O ₂ /L)	Colif. Termot. (NMP/10 0mL)	Turbiedad (NTU)	Clorofila (mg/L)
P1	145	40.31	82.65	91.57	7.48	8.67	733.31	41.8889	-0.6085	0.19419	0.39148	0.580	-0.43732	0.108	0.437	-0.2657	244	0.314	2.080	8.14	275.9	15.4	7.7	4.6	70	2.25	<0.003
P2	210	40.61	78.16	89.22	6.95916	5.44	119.64	92.0235	-0.77157	0.22914	0.22843	0.364	-0.62809	0.149	0.628	-0.466	241	0.329	2.038	8.23	277.8	10.7	7.7	4.9	23	2.41	<0.003
P3	30	33.34	118.44	119.02	14.4421	35.74	30923	-1606.38	2.0785	-0.0849	3.07855	2.596	0.5096	0.346	-0.509	0.44389	250	0.350	2.120	7.32	287.3	11.7	9.4	3.9	22	25.3	<0.003
P4	52	40.49	85.63	97.11	7.89518	10.32	255.57	78.7621	-0.72457	0.24136	0.27543	0.450	-0.56809	0.106	0.568	-0.3787	240	0.324	2.032	8.35	270.4	13.3	9.4	6.4	33	4.94	<0.003
P5	98	37.14	109.92	117.19	8.73285	28.60	71348.	-808.837	0.6873	0.00181	1.68731	1.693	0.25576	0.336	-0.255	0.25746	242	0.376	2.148	8.22	271.1	15.9	7.7	5.4	17	3.75	<0.003

Fuente: Elaboración propia.



ANEXO 2.
Resultados de índices y parámetros de calidad de agua y eutrofización para el año 2019

	Disco S	z- fot	DBO	DQO	Turbieda d S	Cl-a	Chl-a	IETChla	GCI	NGRDI	GVI	RVI	GNDVI	NPCRI	NDWI	NDVI	Conducti vidad (μS/cm)	(F ⁻) (mg/L)	(C ⁻) (mg/L)	° pH a 25°C (pH)	Dureza Total (mg/L)	DQO (mg O₂/L)	Color Verda dero (UC)	OD (mg O₂/L)	Colif. Termot. (NMP/1 00mL)	Turbi edad (UNT)
DiscoS	1.0000																									
z- fot	0.6372	1.0000																								
DBO	0.6939	-0.9553	1.0000																							
DQO	0.6981	-0.9056	0.9894	1.0000																						
Turbiedad S	0.7031	-0.9542	0.8506	0.7776	1.0000																					
Cl-a	0.6848	-0.9626	0.9996	0.9853	0.8607	1.0000																				
Chl-a	0.6287	-0.9707	0.8633	0.7894	0.9930	0.8747	1.0000																			
IETChla	0.6279	0.9984	-0.9678	-0.9245	-0.9363	-0.9741	-0.9559	1.0000																		
GCI	0.6335	-0.9994	0.9631	0.9161	0.9442	0.9699	0.9619	-0.9994	1.0000																	
NGRDI	0.5623	0.9697	-0.9792	-0.9491	-0.8558	-0.9835	-0.8856	0.9805	-0.977	1.0000																
GVI	0.6335	-0.9994	0.9631	0.9161	0.9442	0.9699	0.9619	-0.9994	1.0000	-0.9776	1.000	0														
RVI	0.6358	-0.9934	0.9786	0.9393	0.9193	0.9839	0.9380	-0.9973	0.9968	-0.9897	0.996	8 1.00	00													
GNDVI	0.6062	-0.9606	0.9884	0.9651	0.8442	0.9909	0.8677	-0.9728	0.9699	-0.9969	0.969	9 0.98	60 1.0000)												
NPCRI	- 0.4559	-0.9046	0.9508	0.9490	0.7412	0.9522	0.7883	-0.9268	0.9152	-0.9638	0.915	2 0.93	34 0.9580	1.0000												
NDWI	0.6062	0.9606	-0.9884	-0.9651	-0.8442	-0.9909	-0.8677	0.9728	-0.969	0.9969	-0.969	9 -0.98	60 -1.0000	-0.9580	1.0000											
NDVI	0.6248	-0.9532	0.9877	0.9653	0.8378	0.9894	0.8574	-0.9653	0.9632	-0.9925	0.963	2 0.98	14 0.9988	0.9465	-0.998	1.0000)									
Conductivida d (µS/cm)	- 0.4617	-0.8523	0.6942	0.5827	0.9065	0.7116	0.9123	-0.8273	0.8442	-0.7704	0.844	2 0.81	80 0.7473	0.5995	-0.747	0.7451	1.0000									
(F ⁻) (mg/L)	0.3256	-0.6507	0.8029	0.8613	0.4148	0.7947	0.4670	-0.6922	0.6699	-0.7780	0.669	9 0.71	0.7872	0.9041	-0.787	0.7777	0.2058	1.0000)							
(C ⁻) (mg/L) °pH a 25°C	0.3662	-0.7504	0.8543	0.8566	0.5445	0.8528	0.5851	-0.7790	0.7734	-0.8857	0.773	4 0.81	79 0.8984	0.8760	-0.898	0.9059	0.5383	0.8215	1.0000)						
(pH) Dureza Total	0.4977	0.8879	-0.7188	-0.6135	-0.9550	-0.7359	-0.9623	0.8623	-0.875	0.7789	-0.875	3 -0.84	02 -0.7503	-0.6381	0.750	-0.7404	-0.9757	-0.2503	-0.4711	1.0000						
(mg/L) DQO	0.1703	-0.6840	0.4396	0.3126	0.7846	0.4636	0.8112	-0.6506	0.6650	-0.5495	0.665	0 0.61	22 0.4969	0.4238	-0.497	0.4762	0.8886	0.0186	0.2202	-0.9234	1.0000)				
(mg O₂/L) Color	0.1343	0.1093	0.1177	0.1796	-0.2657	0.1012	-0.2862	0.0785	-0.078	-0.0786	-0.077	9 -0.00	55 0.1384	0.0500	-0.138	0.1779	-0.1864	0.2342	0.4816	0.3536	-0.5847	7 1.0000				
Verdadero (UC) OD	- 0.8298 -	-0.4220	0.3587	0.3357	0.6176	0.3565	0.5351	-0.3908	0.3996	-0.2345	0.399	6 0.36	12 0.2533	0.1297	-0.253	0.2569	0.3675	-0.0591	-0.1372	-0.4762	0.3154	4 -0.363	1.0000			
(mg O ₂ /L)	0.0789	0.5925	-0.3910	-0.2665	-0.5998	-0.4155	-0.6537	0.5726	-0.587	0.5559	-0.587	3 -0.55	97 -0.5046	-z0.4335	0.504	-0.4911	-0.8468	-0.0782	-0.4261	0.7953	-0.8839	0.2604	0.1075	1.0000		
Colif. Termot. (NMP/100mL) Turbiedad		0.4578	-0.5076	-0.5621	-0.3482	-0.5031	-0.3930	0.4815	-0.455	0.4549	-0.455	0 -0.45	07 -0.4383	-0.6381	0.438	-0.4057	-0.0117	-0.7248	-0.2550	0.1913	-0.1157	7 0.4103	-0.233	0.1009	1.0000	
(UNT)	0.6689	-0.8948	0.7531	0.6696	0.9850	0.7654	0.9727	-0.8691	0.8790	-0.7599	0.879	0 0.84	17 0.7419	0.6371	-0.742	0.7322	0.8942	0.2848	0.3950	-0.9602	0.8355	5 -0.404	0.682	0.5984	-0.3287	1.0000

Fuente: Elaboración propia.





Análisis comparativo: riesgo por contagio ante covid-19 en cuatro distritos de Lima Metropolitana

Alex Fernando Arango Garayar, Edras Martínez Lecca, Isabel Mercedes Pino Capcha, Jiancarlo Trujillo Luna, Laura Adela Egoávil Morales, Luz Nohelia Alvarado Mendoza, Ronald J.J. Orellana Salazar

Apoyo: Edwin Lozada Valdez, Jean Chico Saravia, Marisol Aguirre Nieri, Enrique Huerta Obregón, Freddy Martínez Calcina, Hellen S. Maldonado Rivas, Rodrigo Amar Pareja.

RESUMEN

En marzo del 2020, la Organización Mundial de la Salud (OMS) declaró pandemia global el brote de la enfermedad COVID-19. El Perú es uno de los países con mayor número de infectados a nivel mundial, y Lima Metropolitana una de las ciudades más afectadas. El presente estudio se basa en el análisis geográfico de los distritos de Puente Piedra, San Juan de Lurigancho, Lurigancho-Chosica y Villa El Salvador empleando el Análisis Multicriterio (AHP) y considerando aspectos sociales, económicos y ambientales para determinar y comparar el nivel de riesgo ante el contagio producido por el SARS-CoV-2.

PALABRAS CLAVES: Análisis comparativo, Análisis multicriterio, riesgos, Sars-Cov-2.

DATOS DE LOS AUTORES

Los autores pertenecen a la Comisión de Geografía y Gestión del riesgo de desastres del Colegio de Geógrafos del Perú.

Alex Arango Garayar. Geógrafo de la UNMSM con estudios maestría en Geografía con mención en Gestión y Ordenamiento Territorial, facultad Ciencias Sociales - UNMSM, Diplomado de postgrado en Gestión del riesgo de desastres por el centro de altos estudios nacionales - CAEN e INDECI. Estudios en curso de Especialización en Manejo y Conservación de Espacios Naturales por la Universidad Europea del Atlántico del Atlántico de España - FUNIBER.

garayar5184@gmail.com

Edras Martínez Lecca. Geógrafo de la UNMSM con estudios de Diplomado de postgrado en gestión del riesgo de desastres y cambio climático por la escuela de Guerra del Perú (ESGE), Diplomado en Geomántica aplicada a la Gestión del Riesgo de Desastres por IGN Y CAEN y estudios en curso de Especialización en Gestión de riesgos de desastres por INDECI y CENEPRED.

esdraseml22@gmail.com

Isabel Mercedes Pino Capcha. Geógrafa titulada de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Titulado con numero de colegiatura N°421. Especialista en Sistemas de Información Geográfica, aplicación de herramientas avanzadas de Teledetección Aeroespacial para el análisis de información geoespacial orientado al Planeamiento Estratégico Moderno en la Gestión de Ordenamiento



Territorial y Ambiental, Estrategias Actuales, Gestión de Proyectos y Programas de desarrollo a nivel Local, Regional y Nacional y Gestión de Riesgos de Desastres.

isapc27@gmail.com

Jiancarlo Trujillo Luna. Geógrafo de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Titulado con numero de colegiatura N°449, con especialización en Evaluación de Riesgo de Desastres por Fenómenos Naturales. Con experiencia de 4 años en la Gestión del riesgo de desastres a nivel publico formulando proyectos y planes de gestión.

jiancarlo2424@gmail.com

Laura Egoavil Morales. Maestrista de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Geógrafa de profesión con 11 años de experiencia en instituciones públicas y privadas. Con conocimientos en gestión pública, manejo de instrumentos de gestión ambiental, manejo de Sistemas de Información Geográfica, Estudios de Impacto Ambiental y acreditada como Evaluadora de Riesgos.

laura.egoavil.m@gmail.com

Luz Nohelia Alvarado Mendoza. Geógrafa por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (Perú). Titulada con número de colegiatura N°492. Con especialización en Sistemas de Información Geográfica, Gestión en Seguridad, Salud Ocupacional y Medio Ambiente. (Según las normas ISO 14001:2015 Y OHSAS 18001:2007).

noheluz@gmail.com

Ronald Jhon Jairo Orellana Salazar. Geógrafo titulado de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

ronald.orellana@unmsm.edu.pe

© Este artículo es de acceso abierto sujeto a la licencia Reconocimiento 4.0 Internacional de *Creative Commons*. No se permite un uso comercial de la obra original ni la generación de obras derivadas. Para más información, visite: *https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/*

ABSTRACT

In March 2020, the World Health Organization (WHO) declared the outbreak of the COVID-19 disease a global pandemic. Peru is one of the countries with the highest number of infected worldwide, with Metropolitan Lima being one of the most affected cities. The present study is based on the geographical analysis of the districts such us Puente Piedra, San Juan de Lurigancho, Lurigancho-Chosica y Villa El Salvador using the Multicriterial Analysis (AHP) taking into consideration social, economic and environmental aspects with the objective to determine and compare the level of risk from the contagion produced by SARS-CoV-2.

KEYWORDS: Comparative analysis, Multi-criteria analysis, Risks, Sars-Cov-2.

© This article is of open access to the public and subject to the Creative Commons Attribution Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License. The commercial use of this original work and the production of derived works from this article is not allowed. For more information, please visit: https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/



1. Introducción

En la actualidad, la pandemia de la enfermedad COVID-19 ha alcanzado a casi todos los países del globo y en nuestro país se ha convertido en la peor crisis sanitaria de los dos últimos siglos. Definida por la OMS (2020) como "enfermedad infecciosa causada por el coronavirus de reciente descubrimiento. Tanto este nuevo virus como la enfermedad que provoca eran desconocidos antes de que estallara el brote en Wuhan (China) en diciembre de 2019". Al respecto, Díaz-Castrillón & Toro-Montoya (2020) mencionan que "el brote de la enfermedad por coronavirus 2019 (COVID-19), causado por el virus del síndrome respiratorio agudo severo tipo-2 (SARS-CoV-2), fue declarado una pandemia en marzo de 2020".

En el Perú, el MINSA (2020) afirma que está enfermedad puede producirse sin la ocurrencia de síntomas (infección asintomática) o con síntomas (infección sintomática). De acuerdo a cifras oficiales, el Perú registra 482,993 casos confirmados; 13,808 hospitalizados y 21,276 personas fallecidas a nivel nacional. Al analizar los casos confirmados por regiones naturales, encontramos que en la costa peruana hay 389,623 personas infectadas.

Este estudio tiene como objetivo determinar y comparar los niveles de riesgo ante el contagio producido por el SARS-COV-2 (COVID-19) en los distritos de Puente Piedra, San Juan de Lurigancho, Lurigancho-Chosica y Villa El Salvador que están localizados al norte, este y sur de la ciudad de Lima, respectivamente. Dichos distritos son muestras de la periferia y densidad poblacional característica de una urbe como Lima Metropolitana, lo cual puede ilustrar el comportamiento de la propagación del SARS-COV-2 en una ciudad.

Con esta investigación, se pretende dar a conocer el comportamiento (nivel de riesgo) de la población ubicada en los distritos mencionados anteriormente. Por ello, durante el estudio se utilizaron el análisis geoespacial y la metodología de determinación de los niveles de riesgo en función de la vulnerabilidad de la población y los peligros de origen biológico. De esta forma, se brindaron herramientas a gobiernos a nivel nacional, regional y local para la toma de decisiones, basadas en el conocimiento científico, que protejan la salud de los ciudadanos.

En ese sentido, la metodología empleada fue el Análisis Multicriterio (AHP). Para el tratamiento de los datos recopilados se ha dividido la información en dos capítulos. El primero es una caracterización general de los distritos en el aspecto físico, sociocultural y económico; el segundo, es el cálculo y análisis de los resultados sobre los niveles de peligro, vulnerabilidad y riesgos de la población ante la pandemia del COVID-19.

En este documento se consignan los objetivos del estudio, la metodología usada para el recojo de información, así como los resultados obtenidos. El informe está dividió en áreas de estudio, metodología, análisis de peligro, análisis de vulnerabilidad, riesgo, resultados y conclusiones.

2. METODOLOGÍA

2.1. ANÁLISIS MULTICRITERIO

El método AHP (Analytic Hierarchy Process) o comúnmente llamado Análisis Multicriterio se basa en la elaboración de un modelo jerárquico que formaliza la comprensión intuitiva de problemas complejos. Esta metodología fue planteada por el matemático Thomas Saaty. Según Maurtua (2006),



la finalidad de este método es "permitir que el agente decisor (evaluador) pueda estructurar un problema multicriterio en forma visual, mediante la construcción de un Modelo Jerárquico que básicamente contiene tres niveles: meta u objetivo, criterios y alternativas" (p.2)

Ávila afirma lo siguiente:

Una vez construido el Modelo Jerárquico, se realizan comparaciones de pares entre dichos elementos (criterios-subcriterios y alternativas) y se atribuyen valores numéricos a las preferencias señaladas por las personas, entregando una síntesis de las mismas mediante la agregación de esos juicios parciales. Al obtener el resultado final, el AHP permite llevar a cabo el análisis de sensibilidad (Ávila, 2000, pp 5-6).

En síntesis, el análisis multicriterio permite organizar la información de manera eficiente y gráfica, analizándolo por partes mediante un juicio parcial. Sumado a ello, Patiño (2008) señala que "para realizar la estructura de modelo jerárquico, los pasos a seguir son (a) Identificación del problema, (b) Definición del objetivo general, (c) Identificación de criterios e (d) Identificación de alternativas" (pp 26-27).

Cada criterio debe tener una descripción significativa. Los criterios pueden dividirse en subcriterios y estos también se pueden desprender jerárquicamente como se muestra a continuación:

Problema

Criterio 1

Criterio 2

Criterio 3

Criterio 4

Criterio 5

Alternativa 1

Alternativa 2

Alternativa 3

Alternativa 4

FIGURA 1. Modelo jerárquico (método AHP)

Fuente: Reproducido de Loayza, M. (2015).

Asimismo, Patiño (2008) menciona que:

"El fundamento del proceso de Saaty descansa en el hecho que permite dar valores numéricos a los juicios dados por las personas, logrando medir cómo contribuye cada elemento de la jerarquía al nivel inmediatamente superior del cual se desprende. Para estas comparaciones se utilizan escalas de razón en términos de preferencia, importancia o probabilidad que están entre 1 y 9" (p. 28)



2.2 ANÁLISIS DE PELIGRO

En el marco de la Ley N° 29664 del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y su Reglamento (D.S. N°048-2011-PCM), se define al peligro como la probabilidad de que un fenómeno, potencialmente dañino, de origen natural o inducido por la acción humana ocurra en un lugar específico, con cierta intensidad y en un período de tiempo y frecuencia definidos. En el caso específico del peligro que representa la enfermedad por COVID -19, catalogada por la OMS como pandemia debido a su propagación mundial; el peligro se debe a la existencia de un organismo que ante la presencia de factores condicionantes y desencadenantes generan el peligro a la salud humana (Manual de evaluación de riesgo biológico – CENEPRED).

Las variables ambientales que han sido identificadas guardan relación con la trayectoria de enfermedades respiratorias agudas. Su finalidad es identificar los factores modificadores de la propagación asociados con el entorno físico. La selección de variables se debe a que los síntomas de la enfermedad son similares a la gripe, aunque en casos graves devienen en neumonías o síndromes de dificultad respiratoria aguda. Su similitud con enfermedades respiratorias tradicionales es innegable, aunque lo cierto es que hasta el momento no es posible obtener información precisa debido a que es un virus que se encuentra en estudio. Para establecer, fehacientemente, su relación con variables climáticas será necesario un período largo de estudio que incluyan años completos de análisis.

ICACIÓN DE LA SITUACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN - ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN RECORILADA **DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE PELIGRO** CARACTERÍSTICAS FÍSICAS CONDICIONES CLIMÁTICAS NIVELES DE BASE CARTOGRÁFICA DE LA ZON PARÁMETROS DE HUMEDAD RELATIVA TEMPERATURA FISIOGRAFÍA SUSCEPTIBILIDAD ALTITUD MAPA DE NIVEL DE PELIGRO PORCENTAIR DE INCREMENTO DE CONTAGIO

FIGURA 2. Flujograma para determinar los niveles de peligrosidad

Fuente: Adaptado del Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales (segunda versión).

2.2.1 Matriz de peligrosidad

Para el estudio de peligrosidad de cuatro distritos pertenecientes a Lima Metropolitana se han considerado siete variables a analizar según el siguiente detalle:



TABLA 1.Cuadro de parámetros

Parámetro de evaluación	Factor desencadenante	Factores condicionantes						
Son las variables o indicadores que permiten definir las características del peligro.	Son aquellos factores responsables de la generación del peligro.	Son factores que contribuyen de manera favorable o no al desarrollo de la enfermedad de COVID-19, así como su distribución espacial.						
Variable: Tasa de letalidad	Variable: Porcentaje de incremento de contagio	Variables						
La tasa de letalidad se calculó en base a la información mensual disponible del MINSA a nivel distrital. El cálculo se realizó en base a las defunciones identificadas respecto al número de contagios (período entre abril y agosto).	El porcentaje de incremento de contagios se calculó en base a la información mensual disponible del MINSA a nivel distrital. Los datos corresponden al incremento de contagios registrados en el mes de agosto respecto a los contagios registrados en el mes de julio.	 Sensación térmica Humedad Temperatura Fisiografía Altitud 						

Fuente: CGP - Comisión de GRD (2020).

Los factores condicionantes se seleccionaron a partir de su relación con el incremento de enfermedades respiratorias agudas y cuál podría ser su conexión con la transmisión. En tanto que sobre la dinámica viral ante el COVID-19, las variables identificadas están relacionadas a las características físicas del territorio y sus condiciones climáticas.

Aún existe incertidumbre respecto a la relación específica entre condiciones físicas y ambientales y su relación con el virus puesto que es una enfermedad reciente. No obstante, la Organización Meteorológica Mundial realizó un análisis respecto a los estudios ante el Covid-19 en el que concluyó que la temperatura y la humedad son dos de las variables más utilizadas para estudios de análisis de distribución espacial del virus. A continuación, se detallan las variables consideradas:

Variable: sensación térmica

Esta variable fue considerada debido a que los distritos seleccionados presentan variaciones importantes respecto a la temperatura y humedad por su ubicación. Esto se refleja en la existencia de zonas donde la sensación térmica debido a las características de humedad y viento puede disminuir la sensación de temperatura y ocasionar el incremento de enfermedades respiratorias.

El cálculo de sensación térmica para los distritos que forman parte de este estudio se realizó con la metodología utilizada por la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA) de Estados Unidos. Esta metodología consiste en utilizar la fórmula de Steadman para el cálculo de la



sensación térmica, en base a datos de temperatura media y humedad relativa, y en algunos casos realizar una corrección debido a la velocidad del viento.

Variable: humedad

La humedad presenta una relación muy estrecha con la presencia de enfermedades respiratorias, sobre todo, en enfermedades como el asma en niños, que en los últimos años ha ido en aumento. La humedad recomendable oscila entre valores del 40% al 60%. Los rangos de humedad más altos ocasionan un aumento en la población de ácaros y hongos, y un aumento en la supervivencia de bacterias y virus.

Los distritos evaluados presentan niveles de humedad altos, algo normal en Lima Metropolitana, con algunas variaciones importantes en distritos que poseen salida al mar o que se encuentran cerca como es el caso de Villa el Salvador y Puente Piedra.

Variable: temperatura

La relación entre temperatura y enfermedades respiratorias es bastante usual en diversos estudios, esto, debido a que nuestro cuerpo reacciona con la disminución de temperatura. En algunos casos, esto provoca una disminución de nuestras defensas y ciertos cambios como la cantidad de mucosidad en las fosas nasales, que se debilita en ambientes fríos.

Si bien es cierto, Lima Metropolitana no posee temperaturas muy bajas, existen factores que originan la variación local de la temperatura como es el caso de la altitud. Los datos sobre la variable temperatura fueron obtenidos con la información de las estaciones meteorológicas de SENAMHI, y la variación de datos dentro del distrito se generó sobre la base del gradiente de temperatura calculado en relación a la variación de altitud existente dentro de cada distrito.

Variable: fisiografía

La relación entre fisiografía y la distribución espacial del COVID-19 está relacionada a dos aspectos. El primero, el crecimiento desordenado en áreas de ocupación informal (o que en algún momento lo fueron). Para esto se identificaron áreas cuyas características de pendiente son muy altas y están pobladas, dado, que se podrían transformar en espacios donde la población carece de recursos económicos o no cuenta con servicios básicos como el agua. El segundo aspecto identificado a partir de las unidades fisiográficas tiene que ver con el lugar de asentamiento de las viviendas. Para analizar este aspecto, se reconocieron zonas de barlovento y sotavento en donde el viento afecta directamente las caras de la ladera. La ubicación de viviendas en esta área podría afectar la salud de sus habitantes.

Variable: altitud

La altitud fue considerada una variable porque está directamente relacionada con la disminución de temperatura y porque presenta diferencias considerables dentro de los distritos seleccionados para este estudio (como las diferencias marcadas entre el distrito de Lurigancho-Chosica y San Juan de Lurigancho). La altitud de los distritos seleccionados se calculó en base al DEM 12.5 del satélite japonés ALOS PALSAR. En la Tabla 2 se presentan los parámetros y descriptores considerados para la evaluación del peligro de los cuatro distritos de Lima Metropolitana.



TABLA 2. Parámetros y descriptores

Parámetros y descriptores identificados									
Parámetros	Parámetro de evaluación				Factor desencadenante				
Descriptores	Tasa de letalidad				*	% incremento de contagio		ento de contagio	*
	> 4				3, 4	Mayor a 81		1,2, 3, 4	
	>3 - 4				1, 2	60 - 80		-	
	>2 - 3				-	41 - 60		-	
_		>1	- 2		-	21 - 40		-	
		<	1		-	Menor 20			-
Parámetros				F	actores c	ctores condicionantes			
	Sensación térmica	*	Humedad relativa	*	Tempe	eratura	*	Fisiografía	*
	10 - 12,5		100 - 90,1	-	12,1	- 14	2, 4	Estribaciones occidentales	1, 2, 4
es	12,6 - 14	2	90 - 80,1	1, 2, 3, 4	14,1 - 16		2, 4	Colinas y lomadas	1, 2, 3, 4
	14,1 - 16	2	80 - 70,1	1,	16.1	16,1 - 18 2, 4	2.4	Piedemonte aluvio- torrencial	1, 2, 4
Descriptores				4	10,1 -		2,4	Planicie aluvial	1, 3, 4
De	16,1 - 18,5	2	70 - 60,1	-	18,1	- 21	1, 2, 3, 4	Cauce de río	1, 2, 4
								Terrazas	2
	18,6 - 25	1						Duna litoral	
		, 2			21,1	- 24		Humedales costeros	
		, 3 , 4	60 - 40	-			1	Terraza marina	3
*1	Valores identificados en el distrito de Puente Piedra								
*2	Valores identificados en el distrito de Lurigancho								
*3	Valores identificados en el distrito de Villa El Salvador								
*4	Valores identificados en el distrito de San Juan de Lurigancho								

Fuente: CGP - Comisión de GRD (2020).



TABLA 3.Parámetro y descriptores de la variable altitud

Factores condicionantes						
	Altitud					
Parámetros	Puente Piedra	Lurigancho- Chosica	Villa El Salvador	San Juan de Lurigancho		
Descriptores	1201 - 1500	1981 - 2400	801 - 1000	1871 - 2300		
	831 - 1200	1561 - 1980	401 - 800	1201 - 1870		
	531 - 830	1141 - 1560	261 - 400	801 - 1200		
	231 - 530	721 - 1140	141 - 260	401 - 800		
	0 - 230	300 - 720	0 - 140	190 - 400		
	Valores identificados en el distrito					

Fuente: CGP - Comisión de GRD (2020).

2.2.2 Descripción de niveles de peligro por distrito

Puente Piedra

Medio (21,1%)

Está representada por zonas conformadas por colinas y lomadas y algunos piedemontes con una topografía abrupta y con una altitud que comprenden desde 231 a 530 m.s.n.m. con una temperatura media de 20.32 °C y una humedad de 72.64 %. La topografía en este sector sirve como una barrera natural que no permite el ingreso de los vientos provenientes del Pacífico que vienen cargados de humedad.

Alto (78,9%)

Corresponde a la zona oriental del distrito, conformada por planicies, piedemontes y estribaciones occidentales, con altitudes que oscilan de 80 a 830 m.s.n.m. Se caracteriza por presentar una temperatura promedio que va entre los 18° a 21°C, con humedad relativa que va de 72% a 80%.

Este sector está influenciado por vientos húmedos que provienen desde el mar frío del Pacífico. Esto ocurre por la orientación del relieve en esta parte del distrito, lo que hace que ingresen vientos desde el norte y el sur del distrito. Además, en su extremo nororiental se puede encontrar el ecosistema de lomas costeras que se caracterizan por concentraciones de humedad en los meses de invierno.

En Puente Piedra se observa que tanto las zonas de peligro alto como medio se encuentran ocupadas por la población. La excepción es la zona oeste central que se encuentra conformada por zonas de colinas y lomadas de fuerte pendiente. Los principales factores que determinaron el nivel de peligro alto son la humedad, la altitud y la fisiografía. El límite oeste del distrito se encuentra protegido por formaciones correspondiente a colinas y lomadas. El área ubicada dentro de los límites del distrito corresponde a la zona de barlovento. Por otro lado, la zona noroeste corresponde a la unidad denominada planicie aluvial, la misma que al



no presentar barreras y debido a su cercanía al mar, posibilita el ingreso de vientos cargados de humedad a lo largo de todo el distrito.

En el extremo noreste del distrito hay ocupación informal en la zona denominada estribaciones andinas (que se caracteriza por su fuerte pendiente). Esto que podría tener relación con los niveles económicos de la población asentada en esta zona y de posibles problemas de acceso al servicio de agua. Esta situación agravaría la situación de las viviendas ante el COVID-19.

Lurigancho - Chosica

Alto (92,6%)

El nivel de peligro abarca la mayor área del distrito que tiene una topografía bastante variada que va desde lo semiplano u ondulado, hasta lo abrupto. Presenta una altitud que oscila entre los 300 a 1,700 m.s.n.m. con un promedio de temperatura de 14° a 19°C con más de 85% de humedad relativa. Este sector no presenta influencia alguna de los vientos provenientes del litoral marino, debido a la distancia y a la orientación de su relieve. Sin embargo, a mayor altitud de sus laderas es menor la temperatura y la humedad del aire.

Muy alto (7,4%)

Esta área corresponde a las partes más altas del distrito, tratándose de las zonas divisorias de aguas de la cuenca hidrográfica del rio Rímac. Asimismo, este sector se ubica a ambas márgenes del rio Rímac y se caracteriza por tener altitudes que van desde los 1,700 a 2,400 m.s.n.m. Posee una temperatura promedio de 13.43°C con un promedio de humedad relativa de 87.96%. En esta zona el factor primordial es la altitud, por lo que, a mayor nivel de altitud es menor la temperatura y la humedad relativa.

En el distrito se identificaron dos niveles de peligro, sin embargo, la población se encuentra asentada sobre la zona de peligro alto. Los parámetros que determinaron el nivel de peligro alto son la sensación térmica, temperatura, fisiografía y altitud. La zona de peligro alto presenta variaciones de temperatura considerables, sin embargo, las áreas ocupadas por la población poseen ligeras variaciones de 19.7°C a 17.5°C. Esta variación corresponde a las diferencias de altitud y características fisiográficas. Casi la totalidad de la población se encuentra asentada en el piedemonte aluvio-torrencial. Sin embargo, han ocupado zonas correspondientes a quebradas secas, que siguen en expansión, sobre todo en la zona este del distrito. Estás áreas que, en muchos casos, son de ocupación informal guardan relación con niveles económicos bajos y de falta de acceso a servicios básicos como el agua; lo que desfavorece su situación ante los peligros por COVID-19.

San Juan de Lurigancho

Alto (89%)

La zona de peligro corresponde a la mayor parte del distrito. Tiene una topografía muy variada, desde planas a empinadas, con altitudes que van desde los 190 a 1,870 m.s.n.m. Además, presenta una temperatura promedio que oscila entre 15° a 20°C con una humedad relativa de 72% a 88%. En este sector la orientación de su relieve no permite el ingreso directo de los vientos húmedos provenientes del litoral marino. No obstante, el grado de temperatura



y el porcentaje de humedad relativa decrece con la altitud de los distintos tipos de relieve identificados, en especial, de sus laderas de colina y montaña que presentan mayor altitud.

Muy alto (11%)

Son sectores con una altitud mayor a los 1,200 m.s.n.m., y ubicados al extremo nororiental del distrito. Se caracterizan por ser parte de la cadena montañosa del flanco occidental andino. Poseen un promedio de temperatura de 13° a 16°C, con un 87.96 % de humedad relativa promedio. Por su altitud y orientación, esta zona se encuentra expuesta a los vientos húmedos provenientes del litoral marino que disminuyen su temperatura y aumentan su humedad relativa. Esto hace que se forme una neblina densa al llegar a las zonas de mayor altitud de las estribaciones.

En el distrito se identificaron dos niveles de peligro, sin embargo, la población se encuentra asentada sobre la zona de peligro alto. Los parámetros que determinaron el nivel de peligro alto son la altitud y su relación con la variación de temperatura que desciende desde los 20,3°C hasta los 16,4°C de temperatura promedio en las zonas más altas correspondientes a los piedemontes aluvio torrenciales, colinas y estribaciones andinas. La población se acentuó en zonas cuyas características de pendiente generan dificultades, además, corresponden a áreas de ocupación informal, dispuestas de manera desordenada y en algunos casos en zonas de quebradas. Por todo esto, se colige que las viviendas ubicadas en estas zonas poseen niveles económicos bajos y podrían presentar problemas de abastecimiento del servicio agua que en zonas de ocupación informal es uno de los principales problemas para hacer frente al COVID-19.

Villa El Salvador

Medio (42.5%)

Corresponde a zonas que están compuestas por formas de relieve de topografía plana a semiondulada con una altitud que va desde los 20 a 140 m.s.n.m. Poseen una temperatura promedio de 19°C con una humedad relativa de 81% a 88 %. Por su cercanía al litoral marino, los vientos húmedos llegan de forma directa sobre la franja costera, sin embargo, la altitud casi al nivel del mar y la temperatura media que posee generan un ambiente térmico equilibrado.

Alto (57.5%)

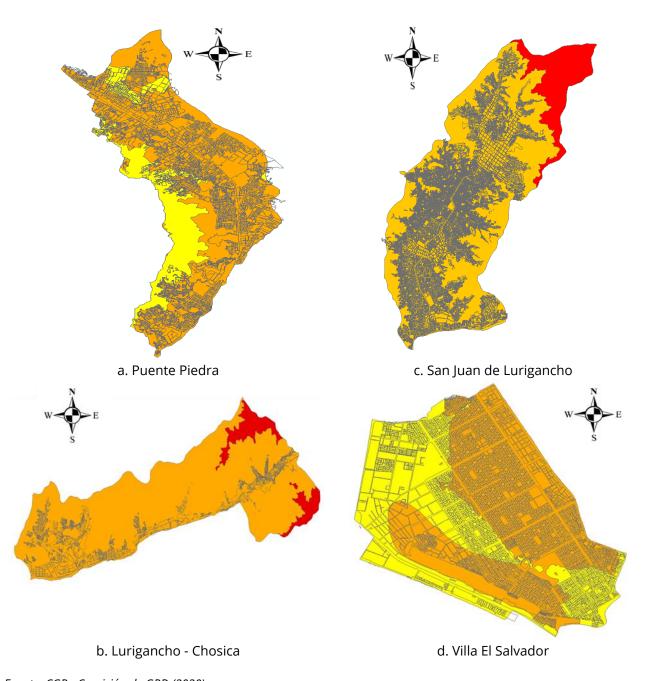
Esta zona está representada por los sectores con mayor elevación del terreno que oscilan desde los 140 a 320 m.s.n.m. Se caracteriza por presentar una topografía de moderada a muy empinada en sectores como Lomo de Corvina y en los casos de las planicies onduladas su pendiente es mucho menor. Posee una temperatura promedio de 18.11°C a 19.11°C con una humedad relativa de 88%. Por la orientación e inclinación de su relieve, los vientos húmedos del Pacífico tienen libre acceso a este sector del distrito lo que hace que el ambiente en el aire sea más húmedo.

El principal parámetro que determina el nivel de peligro del distrito es la humedad relativa que llega hasta el 88% de saturación como promedio mensual multianual, y cuyos máximos valores llegan hasta el 99% durante la estación de invierno. Esto se presenta porque el distrito tiene salida al mar y recibe de forma directa los vientos húmedos del Pacífico. Otro factor que



posibilita la diferenciación entre áreas de peligro alto y medio es la fisiografía y la altitud que generan zonas como Lomo de Corvina. Este lugar, debido a su fisiografía, recibe de forma directa la humedad transportada por los vientos, además, de las zonas de colinas y lomada ubicadas al norte y al este del distrito y una planicie ondulada que incrementa su altura en dirección este y que posibilita que los vientos cargados de humedad lleguen hasta esta zona.

FIGURA 3.Niveles de peligro ante el COVID-19



Fuente: CGP - Comisión de GRD (2020).



2.3 ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD

En el marco de la Ley N° 29664 del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y su reglamento (D.S. N°048-2011-PCM), se define a la vulnerabilidad como "la susceptibilidad de la población, la estructura física o las actividades socioeconómicas, de sufrir daños por acción de un peligro o amenaza".

Lavell (2001) expande dicho concepto, afirmando:

Corresponde a la predisposición o susceptibilidad física, económica, política o social que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir efectos adversos en caso de que un fenómeno peligroso de origen natural o causado por el hombre se manifieste. Las diferencias de vulnerabilidad del contexto social y material expuesto ante un fenómeno peligroso determinan el carácter selectivo de la severidad de sus efectos (p. 21).

Ambas definiciones señalan que la vulnerabilidad de una población es el daño ocasionado por una eventual amenaza o peligro. Sin embargo, este daño o afectación depende de los elementos o características físicas, materiales o socioeconómicas a las cuáles podría estar predispuesta la población. Es decir, para el caso del virus y la enfermedad del COVID-19 la vulnerabilidad será diferente en los distritos analizados de Lima Metropolitana.

Los parámetros distribuidos en dos dimensiones (social y económica) se seleccionaron considerando que la incidencia de casos de contagio podría guardar relación con la propagación del virus y disponibilidad de datos. Estos han sido clasificados de acuerdo a la dimensión económica y social de la vulnerabilidad, los cuales son mostradas en las siguientes tablas.

TABLA 4.Parámetros y descriptores de la dimensión social

Dimensión	Social						
Factores	Exposición social	Fragilidad social	Resiliencia social				
Parámetros	Distancia de los mercados	Grupo etario	Cantidad de centros de salud (CS)	Nivel educativo			
	Distancia del mercado menor de 100 m	De 65 años a más	Que no tenga ningún CS	Sin nivel			
	Distancia de 101 m a 200 m	Menos de 1 a 14 años	Que tenga 1 a 11 CS	Inicial - primaria			
Descriptores	Distancia de 201 m a 300 m	45 a 64 años	Que tenga 12 a 19 CS	Secundaria			
	Distancia de 301 m a 400 m	30 a 44 años	Que tenga 20 a 30 CS	Superior no universitaria			
	Distancia mayor a 401 m	15 a 29 años	Que tenga más de 31 CS	Superior universitario			

Fuente: CGP - Comisión de GRD (2020).



TABLA 5.Parámetros y descriptores de la dimensión económica

Dimensión				
Factores	Fragilidad ed	Resiliencia económica		
Parámetros	Viviendas con abastecimiento de Agua	Viviendas con servicios higiénicos	Tipo de seguro	PET
Descriptores	0 – 10 viviendas	0 – 10 viviendas	Ninguno	0 – 13 años de edad
	11– 20 viviendas	11 – 20 viviendas	SIS	De 14 a 29 años de edad
	21 – 30 viviendas	21 – 30 viviendas	ES Salud/FF.AA.	De 30 a 44 años de edad
	31 – 40 viviendas	31 – 40 viviendas	Otro seguro	De 45 a 64 años de edad
	Mayor de 41 viviendas	Mayor de 41 viviendas	Seguro privado	De 65 años a mas

Fuente: CGP - Comisión de GRD (2020).

2.3.1 Descripción de nivel de vulnerabilidad por distrito

Puente Piedra

Medio (4.43%)

Este nivel de vulnerabilidad comprende a las manzanas de uso industrial elemental y complementario, industria liviana y gran industria, también en mínima cantidad de residencia de densidad media, que se encuentra al centro, sur, este y oeste del distrito con una disgregación ligera. Según el análisis realizado en el distrito, las variables utilizadas determinaron que las manzanas que cuentan con servicios básicos, una población en edad de trabajar adecuada, lejanía a la exposición de los mercados y una población joven tiene mayor resiliencia ante el COVID-19. Este contexto determina una vulnerabilidad media de 4.43% que ocupa el porcentaje más bajo.

Alto (77.24%)

El distrito de Puente Piedra, cuenta con 32 mercados que producen una alta concentración y tránsito de personas. Esto ha generado que las manzanas próximas a los mercados y con un radio estimado de 200 metros tengan una alta vulnerabilidad de contagio ante el COVID-19.

Muy alto (18.13%)

El resultado del nivel de vulnerabilidad muy alto ante el contagio del COVID-19 en el distrito se debe a condiciones físicas de saneamiento, accesibilidad a los servicios básicos, tipo de seguro de salud, condiciones económicas y socioeconómicas de la población y la baja resiliencia de los habitantes de ciertos sectores del distrito. Las viviendas agrupadas en manzanas no tienen agua, luz, ni desagüe. Además, como están lejos de los centros de salud



no tienen acceso inmediato para una óptima atención de las personas contagiadas. Todo esto influye en el desarrollo o aumento de su resiliencia.

El 18.13% de la población tiene una vulnerabilidad muy alta. Esto se debe a que existe un alto rango de personas mayores de 65 años y personas menores de 5 años, es decir, la población más vulnerable ante un posible contagio. De igual manera, no cuentan con servicios básicos, ni con las condiciones económicas y sociales adecuadas.

Lurigancho-Chosica

Medio (9.16%)

Este nivel de vulnerabilidad comprende a la totalidad de manzanas de viviendas con tipo de uso industrial elemental y complementaria, industria liviana y gran industria, también en mínima cantidad residencia de densidad media, que se encuentran al centro, sur, este y oeste del distrito con una disgregación ligera.

El porcentaje de este nivel de vulnerabilidad resulta de las distintas variables utilizadas en el análisis. De esta forma, se ha identificado que las manzanas que cuentan con servicios básicos, una población en edad de trabajar adecuada, la lejanía de los mercados y una población joven tiene una mayor resiliencia ante el COVID-19.

Alto (75.16%)

En el distrito de Lurigancho-Chosica tiene en total 19 mercados. Este es uno de los factores que determinan la de vulnerabilidad alta mayor en el distrito. La alta concentración y el alto tránsito de personas ha generado que las manzanas próximas a los mercados con un radio estimado de 200 metros ha influenciado en una vulnerabilidad alta de contagio de COVID-19.

Muy alto (15.67%)

El nivel de vulnerabilidad muy alto al contagio del COVID-19 se debe a las condiciones físicas de saneamiento de accesibilidad a los servicios básicos, al tipo de seguro de salud, las condiciones económicas y socioeconómicas, así como la baja resiliencia de la población de ciertos sectores del distrito. Hay manzanas que están lejos de los centros de salud, por eso, no tienen acceso inmediato para una óptima atención de las personas contagiadas, y no tienen agua, luz, ni desagüe. Esto influye en el desarrollo o crecimiento de su resiliencia.

Los parámetros de cantidad de viviendas que cuentan con abastecimiento de agua y acceso a servicios higiénicos analizados en el distrito de Lurigancho - Chosica dan cuenta que el 90% de la población tiene servicio de abastecimiento de agua de red pública. El 10% de la población aun no cuenta con este servicio básico, por otro lado, la población que cuenta con acceso a servicios higiénicos en el distrito de Lurigancho - Chosica es de 89%, mientras que el 11% no cuenta con este servicio.

El 15,67% de la población tiene una vulnerabilidad muy alta, debido a que existe un alto rango de personas mayores a 65 años y personas menores de 5 años que son el sector de la población más vulnerable ante un posible contagio. De igual manera, no cuentan con servicios básicos, y no tienen condiciones económicas y sociales adecuadas.



San Juan de Lurigancho

Baja (1%)

En este nivel se encuentran alrededor de 104 manzanas de viviendas afectadas que están distribuidas de manera no uniforme en San Juan de Lurigancho (hay una ligera presencia de manzanas asentadas en el lado este del distrito).

Por otro lado, tanto los elementos expuestos como las variables empleadas en el análisis de la vulnerabilidad arrojan que estas manzanas tienen un mínimo de afectación. Por ejemplo, se encuentran a una distancia considerable de mercados o zonas de infección similares; están cerca de centros de salud y la población habitante tiene capacidad de afrontar los gastos por la pandemia.

Media (7%)

En este nivel, hay alrededor de 1,144 manzanas de viviendas afectadas que están distribuidas de manera regular y cerca a avenidas principales (Wiesse, Canto Grande y Santa Rosa) del distrito. Aunque se nota la ausencia de este nivel en el extremo norte del distrito.

El incremento de nivel es debido a los elementos expuestos y el grado de afectación de las variables utilizadas. Es decir, la población está más próxima a mercados y tiene una deficiencia de centros de salud.

Alta (89%)

En este nivel, hay alrededor de 15,595 manzanas de viviendas afectadas. Este es el nivel más frecuente y que se encuentra casi de manera homogénea en el distrito. No solo se debe a la cercanía a los mercados (hay 127), ni a la deficiencia en la cantidad de centros de salud (solo hay 21), sino a la capacidad económica y el acceso a los servicios básicos (agua y alcantarillado).

Muy alta (3%)

En este nivel, las manzanas de viviendas afectadas son 515 aproximadamente. Están distribuidas en zonas puntuales a lo largo del distrito y cerca de las manzanas que se encuentran en el nivel alto.

Este nivel tiene a la población con mayor vulnerabilidad frente a la propagación del virus. Aquí influyen su baja capacidad económica y poco acceso a los servicios básicos (agua y alcantarillado). Esto se acentúa con mayor frecuencia en las partes altas del distrito, siendo esta la población más vulnerable.

Villa El Salvador

Baja (1.21%)

Este nivel de vulnerabilidad comprende a la zona industrial, en su mayoría, al tener una mayor resiliencia y menor fragilidad en todos los parámetros establecidos para el análisis.

Media (44.56%)

Este es uno de los rangos con mayor cantidad porcentual en el distrito de Villa el Salvador considerando aspectos sociales y económicos. La distribución de rango de la vulnerabilidad



media abarca sectores ubicados, mayormente, por los alrededores del distrito cerca al centro periferia donde las actividades económicas son más latentes y hay una mayor concentración poblacional.

Alta (48.93%)

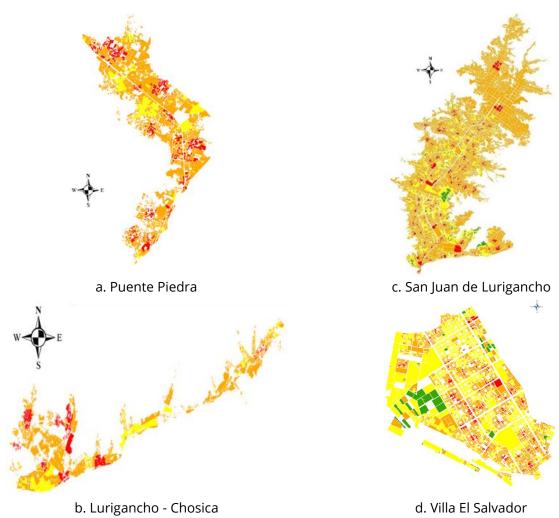
La vulnerabilidad alta es un rango con alto porcentaje, seguido de la vulnerabilidad media y se complementa de manera distributiva con el rango medio. Ambos rangos, al tener la mayor cantidad porcentual reflejan una situación del distrito de Villa el Salvador ligeramente preocupante al tener una población en su mayoría entre estos rangos.

Muy alta (5.30%)

Fuente: CGP - Comisión de GRD (2020).

La vulnerabilidad de rango muy alta comprende a las manzanas de viviendas que a pesar de sus condiciones socioeconómicas son muy susceptibles si contraen la enfermedad. Su distribución es alterada y desordenada, pero se ubican al centro de los rangos medio y alto considerando la distribución y distancia de la aglomeración de la población por la ubicación de los centros comerciales.

FIGURA 4.Niveles de vulnerabilidad ante el COVID-19





2.4 RIESGO

El riesgo es una construcción social que surge de la dinámica de los ecosistemas y las dinámicas de las comunidades. Por lo tanto, el riesgo es una probabilidad de ocurrencia de pérdidas debido a eventos externos. Si bien no se puede controlar la amenaza existente, el riesgo al ser una probabilidad se puede reducir tomando las medidas pertinentes.

Por otra parte, la Agencia de Desastres de las Naciones Unidas considera al desastre como un evento concentrado en el tiempo y el espacio en el cual una comunidad sufre severos daños, tanto a nivel de pérdidas materiales físicas, como de sus propios miembros (por muerte). En este escenario, la estructura social se rompe y el cumplimiento de la totalidad o algunas de las funciones esenciales de la sociedad se ven impedidas.

Como se ha mencionado en párrafos anteriores, el riesgo se comporta de acuerdo a las dinámicas y comportamiento de las comunidades. En este contexto actual, no se conoce con exactitud el comportamiento evolutivo del peligro biológico SARS-COV-2. Es por ese motivo que se debe orientar para reducir el riesgo existente por contagio y no llegar a un desastre por muertes o por falta de logística en el sector salud, ayuda humanitaria, desempleo, etc.

Para obtener el nivel riesgo se utilizó la metodología del Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales- 2da Versión. Este documento fundamenta la ecuación adaptada a la Ley N° 29664, Ley que crea el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, mediante la cual se expresa que el riesgo es una función (f) del peligro (P) y la vulnerabilidad (V).

$$R_{ie} \mid f(P_i, V_e) \mid t$$

Dónde:

R= Riesgo.

f= En función

 \mathbf{P}_{i} =Peligro con la intensidad mayor o igual a i durante un período de exposición t

V = Vulnerabilidad de un elemento expuesto

3. Resultados

Riesgo

Las diferencias que determinaron la identificación de los niveles de riesgo medio y alto en San Juan de Lurigancho, Puente Piedra y Lurigancho-Chosica y de los niveles de riesgo medio, alto y muy alto en Villa El Salvador, no fueron los parámetros físicos y ambientales, sino los relacionados a factores económicos y sociales.

Riesgo en Puente Piedra

Características físicas

El ingreso de vientos húmedos provenientes del litoral es una de las características físicas relacionadas a los riesgos identificados en Puente Piedra. Estos vientos ingresan por la zona norte, que al no presenta barrera alguna favorece su dispersión a lo largo de todo el distrito. De esta forma, se extienden a las zonas de baja altitud que es donde se concentra la mayor parte de la población.

Otra zona que presenta características especiales en cuanto a niveles de humedad son las estribaciones andinas ubicadas al norte del distrito. Estas entran en contacto con el área de



laderas y con los vientos cargados de humedad originan la formación de un ecosistema de lomas costeras. Esta zona presenta valores altos de humedad y otras características como la pendiente pronunciada propia de la unidad fisiográfica. Debido a los procesos de ocupación informal, esta zona q ha sido ocupada por viviendas que en su mayoría están ocupadas por población con bajos recursos económicos, y que debido a la informalidad no cuentan con servicios como agua potable. Este escenario, ante la pandemia del COVID-19, aumentaría el riesgo de contagio, propagación y severidad de la enfermedad.

La humedad en las zonas pobladas supera los valores recomendables en todos los casos descritos, produciéndose un incremento de ácaros, hongos, virus y bacterias en el ambiente. Esto también eleva el riesgo de propagación de enfermedades respiratorias, así como el aumento de enfermedades como el asma que origina cuadros más severos de la enfermedad por COVID-19.

Características sociales y económicas que condicionan el riesgo

Medio (1.70%)

El nivel de riesgo medio (1.70%) es el resultado del análisis de los factores condicionantes y desencadenantes que determinan el nivel de peligro con la intersección de las dimensiones sociales y económicas de vulnerabilidad. Hacia el sur del distrito se observa una manzana en nivel de riesgo medio porque es un área de recreación (ubicada en Shangrila).

Alto (98.30%)

Comprende el mayor porcentaje del distrito por sus condiciones climáticas, sensación térmica y humedad relativa y alta tasa de contagio por mes. También influyen factores de vulnerabilidad analizados como exposición, fragilidad y resiliencia, siendo la determinante de la exposición en los mercados la que genera que el distrito de Puente Piedra tenga un mayor porcentaje de contagio y tenga un riesgo alto (98.30%) en todo su territorio.

Riesgo en Lurigancho-Chosica

Características físicas

Aquí los riesgos identificados están vinculados a la sensación térmica y a la temperatura, que dependen de la variación de fisiografía y altitud.

La mayor parte de la población del distrito está localizada en zonas de baja altitud que corresponden a la unidad fisiográfica de piedemonte aluvio-torrencial. Esta se extiende a lo largo de todo el distrito, de forma contigua a las estribaciones andinas del flanco occidental, ocasionando un aumento ligero y progresivo de la altitud en dirección este. Este aumento ha provocado una variación de hasta 2°C, tanto en temperatura como en sensación térmica, entre la zona oeste y este del distrito. Esta variación no representa un factor considerable en la notable presencia de enfermedades respiratorias. Sin embargo, las zonas aledañas, representadas por las estribaciones occidentales, con variaciones de temperatura y sensación térmica sí representan cambios importantes y si fueran ocupadas generarían un aumento de enfermedades respiratorias.

Otro escenario es la zona este del distrito. Este lugar ha sido ocupado por la población de manera informal, asentándose en las áreas correspondientes a quebradas que presentan



zonas de peligro por su geodinámica externa. A pesar de conocer los posibles problemas a los cuales se enfrentarían, esta área sigue ocupándose de manera desordenada. La mayoría de esta población posee bajos recursos económicos, y debido a la informalidad no tienen servicios como agua potable. Ante el escenario de COVID-19, aumentaría el riesgo de contagio, propagación y severidad de la enfermedad.

Características sociales y económicas que condicionan el riesgo

Medio (2.64%)

El distrito de Lurigancho-Chosica tiene un nivel de riesgo medio y alto de contagio al SARS-COV-2 en el análisis de 2,597 manzanas de viviendas.

El nivel de riesgo medio (2.64%) es resultado de su factor resiliente. Esta área corresponde a las partes más bajas del distrito que tienen zonas con centros recreacionales y centros de salud de poca aglomeración poblacional. Es decir, espacios en donde el nivel de exposición al contagio de la población es mínimo.

Alto (97.36%)

El nivel de riesgo alto (97.36%) comprende la mayor área del distrito. Esto se debe a las variaciones climáticas, el hacinamiento de las manzanas y la presencia de mercados. Todo esto vuelve vulnerable a la zona por tener una dimensión económica desfavorable.

Por otro lado, que la propagación y el aumento del número de pérdidas de vida se debe a la dinámica de la población que se expone a focos de infección y contagios.

Riesgo en San Juan de Lurigancho

Características físicas

Las características físicas relacionadas a los riesgos identificados están vinculadas a la variación de sensación térmica y temperatura (que dependen de la variación de fisiografía y altitud). La mayor parte de la población del distrito se encuentra localizada en zonas de baja altitud, correspondiente a la unidad fisiográfica de piedemonte aluvio-torrencial y planicie aluvial.

El descenso de la temperatura se acentúa en dirección norte generando una variación de hasta 3.9°C entre la zona sur y la zona norte poblada del distrito. Este descenso en la temperatura podría relacionarse a la mayor presencia de enfermedades respiratorias.

La población ha crecido de manera desordenada ocupando áreas correspondientes a colinas y estribaciones occidentales que se encuentran rodeando todo el distrito. Este crecimiento no planificado ocasiona que se ocupen zonas de peligro por geodinámica externa, es decir, zonas empinadas que no cuentan con acceso a servicios básicos como agua potable y sistema de alcantarillado, lo que en el escenario de COVID-19 aumentaría el riesgo de contagio, propagación y severidad de la enfermedad.

Características sociales y económicas que condicionan el riesgo

Medio (3%)

El nivel de riesgo medio (3%) es el resultado del análisis de los factores condicionantes y desencadenantes que determinan el nivel de peligro con la intersección de las dimensiones



sociales y económicas de vulnerabilidad. Las manzanas con riesgo medio corresponden a zonas destinadas a uso industrial. Esto se observa hacia el norte del distrito de SJL en el límite este del distrito de Carabayllo. De igual manera, en el centro del distrito se ubican manzanas de viviendas con un saneamiento físico que cuentan con acceso a servicios básicos y población con un nivel educativo universitario.

Alto (97%)

Comprende el mayor porcentaje del distrito por sus condiciones climáticas, sensación térmica y humedad relativa y alta tasa de contagio por mes. También influyen factores de vulnerabilidad analizados como exposición, fragilidad y resiliencia, siendo la determinante de la exposición en los mercados la que genera que el distrito de SJL tenga un mayor porcentaje de contagio y tenga un riesgo alto (97%) en todo su territorio.

Riesgo en Villa El Salvador

Características físicas

Los riesgos identificados están vinculados a la humedad relativa, debido a que la zona recibe de forma directa los vientos húmedos provenientes del litoral, que llegan a 99% de saturación durante el invierno. Esta característica se acentúa por la fisiografía y la altitud de determinadas áreas del distrito. Esto ocasiona zonas de mayor concentración de humedad como Lomo de Corvina.

Debido a las características físicas, las enfermedades respiratorias pueden propagarse con mayor celeridad debido a que el ambiente es adecuado para el aumento de ácaros y hongos, así como la supervivencia de virus y bacterias. Adicionalmente, Villa el Salvador posee una tasa de letalidad muy superior al promedio estimado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) ocasionando que sus características físicas condicionen ambientes para que la enfermedad del COVID-19 pueda propagarse con mayor intensidad.

Características sociales y económicas que condicionan el riesgo

Medio (0,06 %)

Comprende pocas manzanas de viviendas que presentan características socioeconómicas con una resiliencia media a moderada. Este da como resultado un riesgo alto y las manzanas aledañas en su mayoría presentan riesgo de contagio alto.

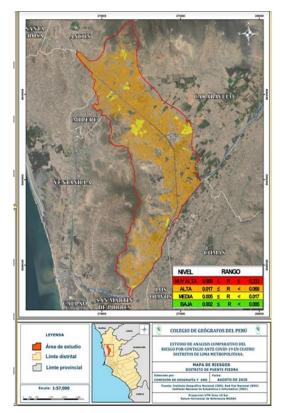
Alto (73.68%)

Las condiciones meteorológicas, así como las unidades fisiográficas condicionantes generan un resultado de manzanas con riesgo alto en la mayoría del distrito de Villa El Salvador. A esto hay que sumarle condiciones sociales y económicas, que colocan a la población en una situación muy propensa al contagio en casi todo el distrito.

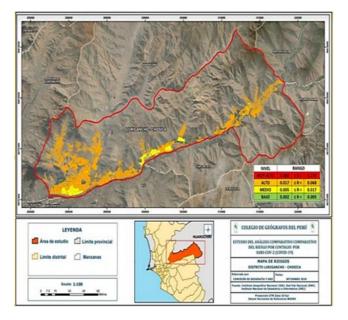
Muy Alto (26,26%)

Aquí se ubican los sectores que presentan mayor concentración poblacional y cercanía a centros de abastecimiento. Estas zonas son de alto tránsito, cercanía y contacto entre pobladores del distrito, por ende, su vulnerabilidad se refleja en el mapa de riesgo.

FIGURA 5.Niveles de vulnerabilidad ante el COVID-19

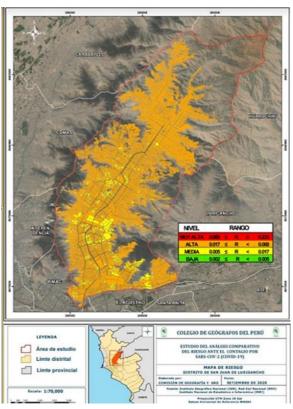


a. Puente Piedra

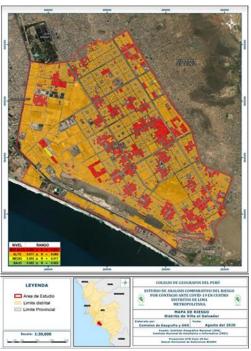


b. Lurigancho - Chosica

Fuente: CGP - Comisión de GRD (2020).



c. San Juan de Lurigancho



d. Villa El Salvador



4. Discusión

RIESGO NIVEL MUY ALTO

La tasa de letalidad en el distrito de Villa El Salvador es de 6.4%, esto representa la más alta tasa respecto a los distritos analizados, porque los niveles de humedad de zonas como Loma de Corvina en temporada húmeda condicionan una mayor aparición de enfermedades respiratorias. Los niveles de riesgo muy alto se deben básicamente a la cercanía de viviendas a los mercados y a la población correspondiente al grupo etario de mayores de 60 años y niños menores a 5 años.

RIESGO NIVEL ALTO

- Las tasas de letalidad en los distritos evaluados poseen dos comportamientos bastante diferenciados. Los distritos de Puente Piedra y Lurigancho- Chosica tienen tasas de letalidad inferiores al 4%. Mientras que los distritos de Villa El Salvador y San Juan de Lurigancho presentan tasas de letalidad que llegan hasta los 6.4%.
- La humedad es un factor que propicia el incremento del riesgo en los distritos de Villa El Salvador y Puente Piedra, a diferencia de los distritos de Lurigancho- Chosica y San Juan de Lurigancho.
- En los distritos de Puente Piedra, San Juan de Lurigancho y Lurigancho, hay zonas con pendientes elevadas que son utilizadas para asentamientos informales, propiciando un mayor riesgo debido al limitado acceso a servicios básicos por las condiciones generadas por la fisiografía.

RIESGO NIVEL MEDIO

- Corresponde a áreas de menor tamaño, en comparación con otros niveles. Esta característica está presente en los cuatro distritos de estudio (San Juan de Lurigancho, Villa El Salvador, Puente Piedra y Lurigancho-Chosica) y distribuida de manera irregular sobre los mismos.
- La población presenta características similares respecto a su capacidad de resiliencia, ya sea económica o social, lo cual les permitiría afrontar de mejor manera el riesgo de contagio.
- También se puede hallar en estas áreas zonas de esparcimiento y uso industrial, sin embargo, esta capacidad puede verse afectada por el aumento de contagios en las zonas aledañas.

5. CONCLUSIONES

- Se evidencia una relación entre el contagio producido por el SARS-COV-2 y los componentes de riesgo, tanto en peligro como en vulnerabilidad. Esto sugiere un comportamiento diferenciado del virus y su propagación en las formas y características de la población y condiciones físico-geográficas por cada distrito evaluado.
- Se estimó que, para los distritos evaluados, los niveles de riesgo ante el contagio producido por el SARS-COV-2 son medio, alto y muy alto. El de mayor porcentaje presente en los distritos evaluados es el nivel alto que afecta a más de la mitad de la población por distrito evaluado.
- Al analizar componentes de riesgo como el peligro y la vulnerabilidad ante el contagio producido por el SARS-COV-2, estos presentan similares niveles por distrito (bajo, medio, alto, muy alto). Sin



embargo, dichos niveles son resultado del comportamiento diferenciado de cada variable por distrito evaluado.

- Las variantes climáticas y topográficas para la determinación del peligro biológico en las áreas de estudio se han aplicado como hipótesis por su impacto y distribución, por lo que no se está afirmando su uso obligatorio. Al ser la enfermedad muy variante en diferentes partes del mundo se sostiene la teoría del uso de estas condiciones y quizás una inclusión oficial posterior con mayor fundamento. Debido a que los distritos evaluados son de la misma región (Lima), no existe mucha variación. Pero, la metodología empleada con los enfoques y sustentación presentada puede servir para próximos estudios que se puedan realizar en otras regiones al ampliar el campo de rangos y variantes climáticas, topográficas y socioeconómicas.
- En el distrito de Villa El Salvador, a diferencia de otros distritos, se obtuvo un resultado de riesgo muy alto, debido a condiciones de vulnerabilidad presente en rangos muy variados en cuanto a la dimensión social y económica, tal como se refleja en los mapas. Villa El Salvador tiene una actividad económica muy fuerte. Tiene zonas con mucha cercanía a los mercados (como Unicachi), avenidas principales (como César Vallejo), mecánicas, pollerías, colegios, paraderos de carros, etc. Por otra parte, en una zona de muy alto riesgo hay viviendas con condiciones más precarias, pero tienen a acceso a servicios básicos y también una humedad relativa muy alta.
- En Puente Piedra, el caso de lomas tipifica como una zona de mayor riesgo. Chosica es un clima más seco ya se diferencia y se vería si ello tiene alguna incidencia. Las condiciones físicas y el factor de humedad no tendrían mucha importancia en Puente Piedra y Chosica y San Juan de Lurigancho.
- En el distrito de San Juan de Lurigancho, existe un gran número de viviendas ubicadas en las zonas de mayor pendiente. Según los datos socioeconómicos no cuentan con acceso a agua, ni desagüe, condiciones que tienen una gran influencia en el resultado de zona de riesgo alto. Además, no existen centros comerciales como mercados lo que ocasiona una baja dinámica económica.
- La cartografía ayuda a identificar espacialmente el comportamiento de diferentes variables, lo cual es esencial para la toma de acciones y medidas. Este estudio se realizó con información registrada y habilitada. Sin embargo, no se encontraron muchos datos georreferenciados sobre el sector salud, lo cual hubiera sido enriquecedor en los resultados del presente estudio.

RECOMENDACIONES

Se sugiere elaborar planes de contingencia, de prevención y protocolos sanitarios entre otras medidas de gestión pública que focalicen esfuerzos o medidas estructurales o no estructurales, de acuerdo, al nivel de riesgo por distrito.

Sobre las variables e indicadores usados se sugiere añadir variables logísticas (índice de población vacunada, cantidad de plantas de oxígeno por distrito, cantidad de camas UCI) y epidemiológicas (variantes del virus, grado de propagación de nuevas cepas, nivel de educación sanitaria de la población, efectos de los tipos de vacunas) para evaluar escenarios pospandemia.



REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Alaska Satellite Facility. (2020). *ASF Data Serch Vertex, Satelite: ALOS PALSAR.* Recuperado de: https://search.asf.alaska.edu/#/?zoom=10.951¢er=-76.955,-12.007&dataset=ALOS
- Ávila, R. E. (2000). "El AHP y su aplicación para determinar los usos de las tierras: El Caso de Brasil".

 Informe Técnico. Proyecto Regional Información sobre Tierras y Aguas para un Desarrollo Agrícola Sostenible (Proyecto Gcp/Rla/126/Jpn). Santiago, Chile.
- Capel, H. (2010). "Francisco Calvo García-Tornel: Los riesgos de la geografía y la geografía de los riesgos. Papeles de Geografía", (51-52), 11-22. Recuperado de: https://revistas.um.es/geografia/article/view/114351
- CENEPRED (2015). *Manual de para la Evaluación de Riesgos biológicos. Lima, Perú.* Recuperado de https://dimse.cenepred.gob.pe/simse/cenepred/docs/XII-MAN-manual-evar-biologicos.pdf
- CENEPRED (2015). Manual de para la Evaluación de Riesgos originados por fenómenos naturales, Versión 2. Lima, Perú. Recuperado de https://www.cenepred.gob.pe/web/wp-content/uploads/Guia Manuales/Manual-Evaluacion-de-Riesgos v2.pdf
- Colegio de Geógrafos del Perú (2020). Comisión de Gestión de Riesgo de Desastres.
- Díaz-Castrillón, F. J., & Toro-Montoya, A. I. (2020). *SARS-CoV-2/COVID-19: el virus, la enfermedad y la pandemia*. Medicina & laboratorio, 24(3), 183-205. Recuperado de https://doi.org/10.36384/01232576.268
- GEOCATMIN (2017). *Mapa Geomorfológico del Perú (Escala 1:250 000)* https://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/
- Lavell, A., & Lavell, C. (2020). *El COVID-19: Relaciones con el riesgo de desastres, su concepto y gestión.*Recuperado de https://www.desenredando.org/public/2020/Lavell_2020-05_COVID-19_y_Desastre_v3, 4.
- Ley N° 29664 del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y su Reglamento (D.S. N°048-2011-PCM).
- Maurtua, D. (2006). *Criterios de selección de Personal mediante el uso del proceso de análisis jerárquico.*Aplicación en la selección de personal para la empresa Exotic Foods SAC. Universidad
 Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú, 122. Recuperado de
 https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/monografias/basic/maurtua_od/contenido.htm
- MINSA (2020). *Ministerio de Salud del Perú, Datos Abiertos Minsa y Gestión del Conocimiento en COVID-*19. Recuperado de
 https://www.minsa.gob.pe/datosabiertos/?op=22
- NOAA (2020). *Metodología para el cálculo de sensación térmica.* Recuperado de https://www.wpc.ncep.noaa.gov/html/heatindex_equation.shtm
- Patiño, A. (2011). *Análisis del modelo SCOR y su aplicación a una cadena de suministro del sector del automóvil*. Recuperado de http://hdl.handle.net/10251/12380
- SENAMHI. (2020). *Datos Hidrometeorológicos por estaciones*. Recuperado de https://www.senamhi.gob.pe/?&p=estaciones



Sweijd, N., & Zaitchik, B. F. (2021). The 2020 WMO Symposium on Climatological, Meteorological and Environmental factors in the COVID-19 pandemic: A special issue from symposium presentations.

One Health, 12, 100243. Recuperado de https://doi.org/10.1016/j.onehlt.2021.100243

UNISDR (2009). *Terminología sobre reducción del riesgo de desastres*. Recuperado de https://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologySpanish.pdf



COLEGIO DE GEÓGRAFOS DEL PERÚ www.cgp.org.pe