

Artículo de Divulgación Científica

El Niño, cambio climático, y el ecosistema de manglares de Tumbes

El bosque manglar es un ecosistema bastante extendido en las regiones costeras/estuarinas tropicales. Se caracteriza principalmente en que las diferentes especies de árboles de mangle están adaptadas a diversos grados de salinidad en el agua, por lo cual son prevalentes en zonas cálidas bajo la influencia de ríos y el océano, donde la dinámica de las mareas juega un rol central ya que son estas las que, al inundar periódicamente el bosque, irrigan los árboles. El ecosistema asociado es bastante dinámico y hace que los manglares sean importante fuente de recursos y servicios a las poblaciones y actividades socioeconómicas.

Los manglares de Tumbes se encuentran bajo la influencia de los ríos Tumbes y Zarumilla (Figura 1) y cubren una pequeña parte del territorio peruano sin embargo, por lo mismo, son un elemento valioso de nuestra biodiversidad. Además, juegan un rol clave en sostener actividades socioeconómicas en la región, tanto como fuente directa de recursos (como la concha negra, o *Anadara tuberculosa*, que en el Perú solo se produce ahí), como a través de la provisión de servicios ecosistémicos cuales, por ejemplo, el abastecimiento de agua para la industria langostinera.

Existen presiones diversas que amenazan a este ecosistema, tanto de origen antrópico como natural. Como ejemplos de lo primero, tenemos la contaminación y la deforestación



Ph. D. Ken Takahashi Guevara
Investigador Científico del
Instituto Geofísico del Perú

Ph. D. en Ciencias Atmosféricas de la University of Washington, Seattle, EEUU y Físico de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP). Actualmente es investigador científico en el Instituto Geofísico del Perú, donde está a cargo de la Subdirección de Ciencias de la Atmósfera e Hidrósfera, y representa al IGP en el Comité Técnico del ENFEN. Además, es investigador principal del proyecto "Impacto de la Variabilidad y Cambio Climático en el Ecosistema de Manglares de Tumbes". Recientemente su investigación está enfocada en entender las condiciones que favorecen la ocurrencia de eventos El Niño extremos, los procesos de interacción entre el océano y atmósfera, identificar la variabilidad a escala decadal en el Pacífico sureste.

asociadas a las actividades de acuicultura y otros, así como la sobreexplotación de la concha negra, la cual ha llevado a una reducción de las capturas de aproximadamente 80% entre los años 1996 y 2010¹.

Para entender las amenazas naturales, primero hay que entender que la costa norte de Perú se encuentra en la frontera entre el régimen climático tropical, que es típico de esas latitudes, y el régimen de afloramiento costero frío más al



Figura 1. Ubicación de las zonas de estudio en el Proyecto Manglares IGP (Imagen: Google Earth).

¹http://www.imarpe.gob.pe/tumbes/especies_comerciales/invertebrados/concha_negra.pdf.

El Niño, cambio climático, y el ecosistema de manglares de Tumbes

Takahashi K. y Martínez A.

Mag. Alejandra Martínez
Investigadora Científica del
Instituto Geofísico del Perú



Magister en Ecología y Gestión Ambiental de la Universidad Ricardo Palma y Economista de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Actualmente es responsable de la Subdirección de Geofísica y Sociedad e investigadora científica del Instituto Geofísico del Perú. Recientemente, sus estudios están enfocados en los impactos socioeconómicos de los fenómenos geofísicos en la sociedad y su desarrollo, especialmente en los temas de vulnerabilidad, adaptación y gestión de desastres naturales.

sur, que sostiene una de las pesquerías más productivas del mundo. Los manglares de Tumbes se encuentran en el lado tropical, justo al norte de esta transición, y marcan el límite austral de la distribución de este ecosistema que se extiende por la costa occidental de América hasta México.

El fenómeno El Niño está asociado a un calentamiento anormal del mar en la costa norte y se puede describir como un desplazamiento hacia el sur de la frontera climática mencionada. Debido a esto, durante los eventos El Niño extraordinarios en los años 1982-1983 y 1997-1998, esta región experimentó una tropicalización del clima, con altas

temperaturas, así como con precipitaciones más típicas de la selva amazónica (Figura 2), produciendo una diversidad de impactos en el ecosistema. Con el cambio climático, se especula que estos impactos podrían ser incluso mayores.

La gestión sostenible del ecosistema y la reducción de la vulnerabilidad ante los posibles impactos futuros del cambio climático requerirá un conocimiento más profundo de este entorno y de sus controles ambientales, pero la información científica básica es escasa.

Proyecto Manglares IGP

En ese contexto, el Instituto Geofísico del Perú (IGP), en colaboración con varias otras instituciones y con financiamiento del IDRC de Canadá, ejecutó el proyecto "Impactos de la Variabilidad y Cambio Climático en el Ecosistema de Manglares de Tumbes" (Proyecto Manglares IGP) a partir de enero 2012 hasta el presente año. Su principal objetivo fue fortalecer la capacidad de adaptación a la variabilidad y el cambio climático en este ecosistema, focalizado en el Santuario Nacional Los Manglares de Tumbes (SNLMT), así como en los manglares cerca de Puerto Pizarro (Figura 1). Debido a la naturaleza del proyecto, este fue desarrollado por un equipo multidisciplinario e interinstitucional de más de una treintena de investigadores en ciencias físicas, biológicas y sociales, junto con más de veinte estudiantes y asistentes de investigación, en coordinación permanente con los actores y gestores. Esto último ayudó a que los temas de investigación se centraran en los asuntos de mayor preocupación en el ámbito del ecosistema. Se planearon estos temas de forma que sus resultados podrían estar conectados de manera sinérgica, sin dejar de lado el rigor científico requerido. Los estudiantes han contribuido significativamente a la investigación a través del desarrollo de sus tesis, que a su vez era el principal mecanismo para la creación de capacidades.

El Proyecto Manglares IGP ha logrado avances significativos en la comprensión de la relación entre el ambiente y el ecosistema, aunque quedan muchas preguntas abiertas. El dinamismo del ecosistema de manglar de Tumbes se confirma en su relación con la variabilidad climática asociada con El Niño. Hemos analizado el efecto de las principales actividades humanas (la extracción de recursos, la agricultura, el turismo, la urbanización, la acuicultura) en el ecosistema y evaluado los servicios que ofrece. Como una primera aproximación, se estima que el cambio climático podría tener efectos similares a los de El Niño, por lo que la experiencia adquirida con este fenómeno sirve para vislumbrar lo que el futuro puede traer. El diagrama en la Figura 3 resume los componentes principales y las interacciones del sistema climático / ecosistemas / población que se consideró en el marco de este proyecto. Hay que mencionar que el diagrama no pretende ser exhaustivo (ya que, por ejemplo, están ausentes la actividad pesquera y la contaminación ambiental), sino que prioriza aquellos aspectos relacionados principalmente con el clima para los cuales se contaba con especialistas en el equipo de investigación.

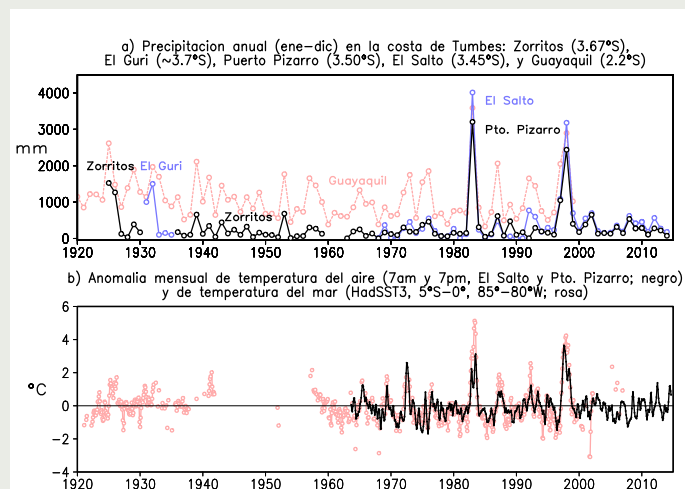


Figura 2. a) Precipitación anual (mm) en los manglares de Puerto Pizarro y SNLMT (El Salto), complementada con los datos de Zorritos y El Guri, así como los de Guayaquil, Ecuador. b) Anomalia de temperatura del aire en los manglares de Tumbes (negro), así como de la temperatura superficial del mar tomada por barcos (rosa).

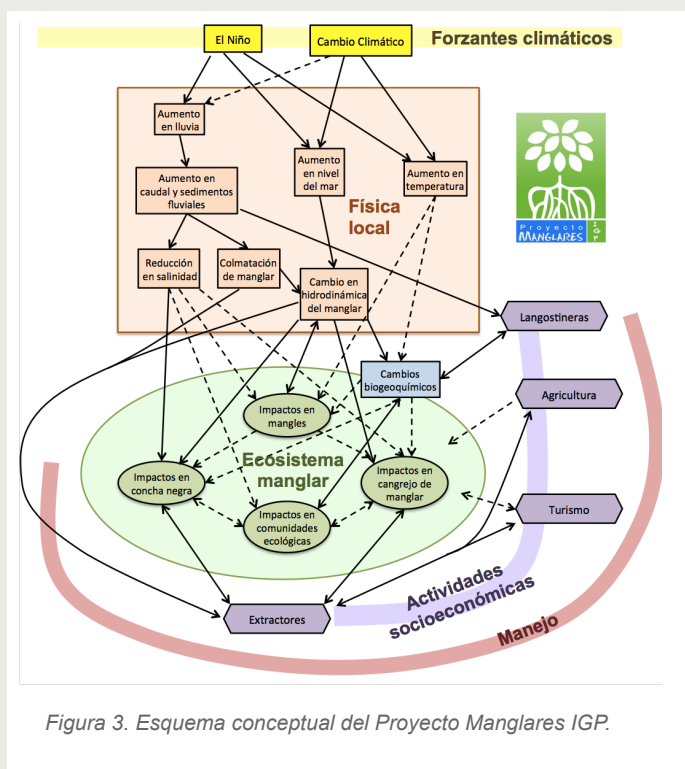


Figura 3. Esquema conceptual del Proyecto Manglares IGP.

Aspectos ambientales

Los estudios sobre las características y mecanismos de El Niño dentro del proyecto indican que hay procesos climáticos particulares al Pacífico Lejano Oriente que son clave para amplificar estos eventos y convertirlos en extraordinarios a la escala de todo el océano Pacífico, como en los años 1982 y 1997, produciendo las mayores lluvias en esta región (Takahashi y Dewitte, 2015; Figura 2). Por otro lado, el evento El Niño en 1925 fue también intenso en cuanto a lluvias en la costa peruana (Figura 2), pero tuvo una característica bastante más local, con un calentamiento costero asociado a vientos del norte y con condiciones frías en el resto del Pacífico Ecuatorial (Takahashi et al., 2015). Los procesos físicos en el Pacífico Oriental en general no están representados en los modelos climáticos utilizados para la predicción estacional y/o proyecciones de cambio climático. Esto sigue siendo un tema crítico en cuanto a la evaluación de los riesgos asociados con El Niño en la región.

Estacionalmente, el régimen hidrológico y los cambios asociados con la entrada de agua dulce son el control principal de la biogeoquímica del ecosistema, que responde dinámicamente a través de una diversidad de procesos (Pérez, 2013). Es muy probable que estos sean más pronunciados durante El Niño extraordinario, cuando una intensa precipitación conduce hacia el interior del manglar una elevada descarga de los ríos durante varios meses. Además, se cree que la concha negra, uno de los recursos más importantes de este ecosistema, es incapaz de soportar la presencia de agua dulce durante esos largos períodos de

tiempo. Por otro lado, un estudio dendrocronológico indica que, con mayores descargas del río, los árboles de mangle crecen más rápido (Gonzales, 2015).

Además de la descarga de agua dulce, se produce también la entrada de sedimentos del río, que aumentaron por un factor de 10 a 30 durante los eventos extremos de El Niño (1982-83 y 1997-98) en relación con años normales (Morera, 2014ab). De acuerdo con la población de la zona, la obstrucción de los canales asociados con los sedimentos de los dos eventos extremos persiste hasta la actualidad. Un tema pendiente es la estimación de la contribución de los sedimentos arrastrados en el fondo durante eventos El Niño extraordinarios (Quincho, 2015). Las simulaciones con un modelo hidrodinámico desarrollado en el proyecto indican que un bloqueo hipotético por colmatación del canal de marea en el manglar hacia el lado ecuatorial daría lugar a una reducción del 20-30% en la amplitud de las mareas en el manglar, produciendo una reducción de la inundación de los bosques y, por lo tanto, del riego necesario para los árboles de mangle (Fajardo, 2015). Con el cambio climático, se encontró que la precipitación podría aumentar entre 0% hasta un 60%, después de corregir los errores en los modelos climáticos, bajo un escenario de emisiones de gases de efecto invernadero intermedio (Ramos, 2014). Puesto que la mayor precipitación ocurre como eventos intensos durante eventos de El Niño (León, 2014), este es un escenario alarmante

Por otro lado, El Niño también conduce a un aumento temporal del nivel de agua, asociado con las ondas oceánicas Kelvin como la observada en abril-mayo 2014 que condujo a un aumento de 30 cm por unos días (Fajardo et al., 2014). Estas ondas pueden interrumpir las actividades de los extractores de recursos hidrobiológicos artesanales, que necesitan las mareas bajas para entrar en el bosque. Por otro lado, el aumento sostenido del nivel de agua asociado con el cambio climático tendría un tipo diferente de efecto. Debido a que las especies de manglar están asociadas con rangos específicos de frecuencias de inundación de las mareas en función de sus necesidades de agua (Parra, 2014; Figura 4), el cambio en el nivel del mar por sí solo podría dar lugar a un cambio en la distribución espacial de estas especies. Sin embargo, los manglares también construirán sustrato mediante la acumulación de sedimentos, por lo que el equilibrio entre estos dos procesos jugará un papel clave en el resultado final (Alongi, 2008).

Aunque se puede esperar que el bosque de manglar sea afectado por las temperaturas tropicales asociadas con El Niño, el calentamiento asociado con el clima podría provocar temperaturas medias superiores a las que estos ecosistemas han experimentado normalmente, lo que podría tener efectos imprevistos sobre los procesos biogeoquímicos (por ejemplo, sobre el metabolismo de meiobentos, la tasa de respiración aerobia de la materia orgánica, la reacumulación de sulfuro de hidrógeno en el sedimento, la liberación de CO₂, la remineralización bacteriana y el consumo de oxígeno) que afectaría el funcionamiento del ecosistema mismo (Pérez, 2014). Esto requiere más estudios.

El Niño, cambio climático, y el ecosistema de manglares de Tumbes

Takahashi K. y Martínez A.

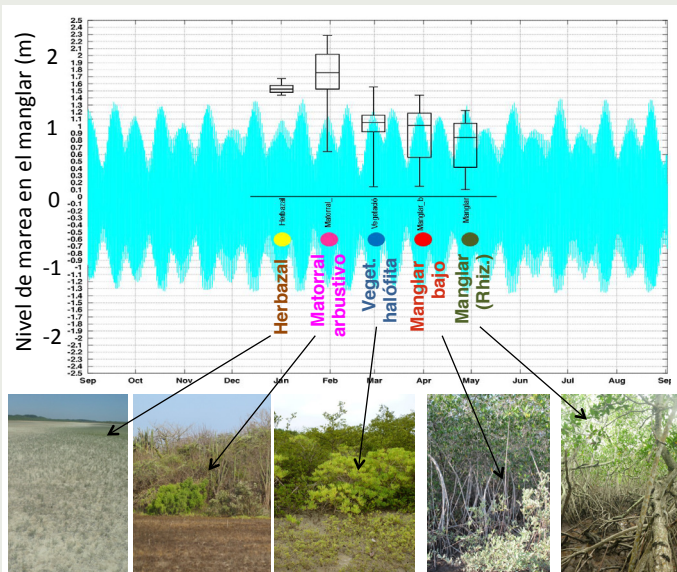


Figura 4. Distribución altitudinal de diferentes comunidades vegetales en el Santuario Nacional Los Manglares de Tumbes, junto con un registro típico de las variaciones de las mareas (celeste). Adaptado de Parra (2014).

Aspectos humanos

Las presiones humanas sobre el ecosistema también son tan grandes como las climáticas, si no mayores. La sobreexplotación de la concha negra por extractores artesanales y el control laxo por las autoridades probablemente han contribuido a la disminución de la población y de la producción (Azabache, 2015), aunque para el cangrejo el establecimiento de cuotas de extracción ha tenido resultados prometedores. Una herramienta importante para implementar este tipo de política sería un modelo de dinámica poblacional, para lo cual se ha realizado un monitoreo continuo de los cangrejos que, por lo pronto, indica que en el área protegida los cangrejos son consistentemente más grandes en tamaño, aunque las densidades de población se mantienen similares (Vitor, 2015). Para la concha negra, una cantidad clave que se está por determinar es la tasa de mortalidad asociada con el aporte de agua dulce durante El Niño (Vera, 2015). Además, se han hecho avances en el estudio de los anillos de microcrecimiento en las conchas y su relación con el régimen de mareas (Castro, 2015).

Además de la extracción, se han identificado otras actividades humanas que producen presión sobre el ecosistema. Las actividades agrícolas (Feijoo, 2014) y el crecimiento urbano en la zona de amortiguamiento del área protegida han dado lugar a la reducción en la extensión del bosque seco y la presencia de la fauna, la compactación del suelo, la presencia de residuos sólidos y la degradación general de la belleza escénica. Asociado a este último, el turismo es una actividad económica alternativa que podría llegar a ser importante dentro del propio manglar, pero que requiere un desarrollo sustancial (Prado, 2014). Una actividad económica cuyo

impacto en los manglares es considerado particularmente negativo es el cultivo de langostino, ya que su expansión implicó originalmente la limpieza de una zona de manglares (Céspedes, 2015) y el establecimiento del área protegida fue una forma de preservar una muestra representativa de este ecosistema. Otro aspecto criticado del cultivo de langostino es la eliminación de aguas sin tratar en los manglares que pueden dañar la flora y la fauna, sin embargo hacen falta estudios que lo confirmen.

El análisis de las dinámicas sociales e institucionales asociadas con la extracción de recursos permitió la identificación de las medidas de adaptación espontáneas, así como la formulación de medidas de adaptación preventivas (Mendoza et al., 2015). Como medidas espontáneas se identificaron aquellas que los extractores artesanales han adoptado en una forma no planificada a lo largo de los años, muchas veces empujados por circunstancias sociopolíticas como medioambientales como, por ejemplo, la búsqueda y generación de actividades alternativas durante los meses de veda, la adecuación de sus actividades de extracción a cambios en los ritmos naturales del ecosistema, el apoyo a los trabajos de conservación como guardaparques voluntarios, etc.

Sin embargo algunas de estas medidas, a pesar de haber solucionado problemas a corto o incluso mediano plazo, a la larga han producido impactos negativos sobre el ecosistema y/o sobre el bienestar de los extractores. Por ejemplo, la creación de las seis asociaciones de extractores se puede considerar una medida de adaptación orientada a formalizar y fortalecer la posición de los extractores ante las autoridades correspondientes. Sin embargo, al mismo tiempo, la existencia de múltiples asociaciones con diferentes intereses y posiciones, ha demostrado ser un impedimento para una gestión efectiva y ha producido debilitamiento institucional en lugar de fortalecimiento.

En el caso de medidas preventivas, se han propuesto estrategias tanto a nivel individual, o de hogar, como a nivel de gobierno local. Entre las primeras se cuentan capacitaciones puntuales en la planificación de los ingresos familiares y la promoción de redes de ahorro familiares o locales; mejoras en la prestación de servicios ya existentes en la zona protegida; promoción de alternativas de asociación que fortalezcan a los grupos de extractores actualmente divididos incluyendo la generación de capacidades en organización local, etc. A nivel de gobierno local, la medida más importante está referida a la inclusión de los resultados de las investigaciones realizadas sobre el ecosistema manglar en general y el SNLMT en particular, en documentos muy puntuales de gestión como el Plan Maestro del área protegida y en políticas regionales y municipales a nivel de distritos. Otras medidas incluyen el fortalecimiento de los canales de flujo de información entre extractores, sus propias asociaciones, Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas (SERNANP) y las autoridades locales; la coordinación de actividades conjuntas (vedas por ejemplo) entre las autoridades peruanas y ecuatorianas; buscar el acercamiento a mercados de productos "premium" (posibilidad que fracasó en el pasado debido a la falta de organización de los productores), etc.

Comentarios finales

En general, el funcionamiento de los ecosistemas y su relación con las variaciones ambientales es complejo. Debido a la interconexión entre sus componentes, los efectos de influencias externas, como la variabilidad y cambio climático o las presiones humanas, pueden tener múltiples ramificaciones. El Proyecto Manglares IGP debe ser considerado como un punto de partida en el estudio integral de cómo las variaciones climáticas pueden afectar al ecosistema de manglar. El trabajo multidisciplinario es fundamental, pero es importante no perder de vista el rigor científico en el afán de buscar responder preguntas a veces muy amplias, por lo que siempre debe haber un espacio para el trabajo especializado de cada disciplina. El caso de los manglares de Tumbes fue un caso particular debido a la existencia del área protegida, a su pequeña extensión y población asociada, y a la fuerte señal asociada a El Niño. Sin embargo, diversas preguntas quedan abiertas y nuevas han aparecido. Es necesario fomentar la continuidad de la investigación en un marco multidisciplinario y de alto nivel científico, para poder mejorar la toma de decisiones y gestión del ecosistema.

Referencias

Alongi, D. M., 2008: Mangrove forests: Resilience, protection from tsunamis, and responses to global climate change, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 76, 1-13.

Azabache, J. M., 2015: Cadena productiva de *Anadara tuberculosa* (Sowerby 1833) extraída en el Santuario Nacional Los Manglares de Tumbes, 2013, Tesis Ing. Pesquera, Universidad Nacional de Tumbes, Tumbes, Perú (en preparación).

Castro, R., 2015: Influencia de los cambios espaciales y temporales de salinidad en los ritmos de microcrecimiento de las conchas de *Anadara tuberculosa*, Tesis Maestría Ciencias del Mar, Universidad Peruana Cayetano Heredia, Lima, Perú (en preparación).

Céspedes, L., 2015: Dinámica territorial de la actividad acuícola en la parte baja de la cuenca del Río Tumbes, Perú. Caso: Langostineras, Tesis Maestría Gestión Integral de Cuenas Hidrográficas, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

Fajardo, J., 2015: Modelado Numérico del Campo de Velocidades y Niveles de Marea en el Santuario Nacional de Los Manglares de Tumbes, Tesis para optar el título de Licenciado en Física, Universidad Nacional del Callao, Callao, Perú.

Fajardo, J., K. Mosqueray K. Takahashi, 2014: Los impactos de la marea y la onda Kelvin en los manglares de Tumbes, Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño", Vol. 1, N°9, Setiembre, Instituto Geofísico del Perú.

Feijoo, A., 2014: Identificación de Impactos de la actividad agrícola para el período 1985 – 2014, en la Zona de Amortiguamiento del SNLMT, distritos de Aguas Verdes y Zarumilla, Tesis Ing. Forestal y Medio Ambiente, Universidad Nacional de Tumbes, Tumbes, Perú.

Gonzales, U., 2015: Influencia de tres factores ambientales sobre los anillos de crecimiento de *Rhizophora mangle* L. 1753 "mangle rojo" Rhizophoraceae en el Ecosistema de Manglares de Tumbes, Tesis Biología, Universidad Nacional de Piura, Piura, Perú (en preparación).

León, K., 2014: Análisis espacio-temporal de las precipitaciones y caudales durante los eventos El Niño (1982-83 y 1997-98) en la costa norte peruana, Tesis Ing. Agrícola, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

Mendoza, A., D. Flores, L. Céspedes, A. Martínez, 2015: Análisis de capacidad y vulnerabilidad climática de las asociaciones de extractores de concha negra y cangrejo rojo del Santuario Nacional Los Manglares de Tumbes, Informe Técnico - Proyecto Manglares IGP.

Morera, S., 2014a: Magnitud, frecuencia y factores que controlan los flujos sedimentarios desde los Andes Centrales Occidentales hacia el océano Pacífico peruano, Tesis para optar el grado de Doctor en Recursos Hídricos, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

Morera, S., 2014b: Erosión y transporte de sedimentos durante eventos El Niño a lo largo de los Andes occidentales, Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño", Vol. 1, N°7, Julio, 4-7, Instituto Geofísico del Perú.

Parra, C., 2014: Efecto de la altitud del terreno sobre la estructura y distribución espacial de las comunidades vegetales del Santuario Nacional Los Manglares de Tumbes (SNLMT), Tesis Biología, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

Pérez, A., 2013: Influencia del régimen hídrico y de las condiciones geoquímicas sobre la comunidad y el flujo energético del meiobentos metazoario de los sedimentos intermareales y submareales de los Manglares de Tumbes, Tesis de Maestría en Ciencias del Mar, Universidad Peruana Cayetano Heredia, Lima, Perú.

Prado, M. R., 2014: Capacidad de carga turística de los circuitos turísticos del Santuario Nacional Los Manglares de Tumbes y del circuito turístico de Puerto Pizarro, Tumbes 2013 – 2014, Tesis Ing. Forestal y de Medio Ambiente, Universidad Nacional de Tumbes, Tumbes, Perú.

Quincho, J., 2015: Estudio experimental del transporte de sedimentos en suspensión y fondo, y comparación con modelos teóricos en los ríos Puyango, Tumbes y Zarumilla, Tesis Ing. Agrícola, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

Ramos, Y., 2014: Estimación del efecto del cambio climático en la precipitación en la costa norte del Perú usando simulaciones de modelos climáticos globales, Tesis Ing. Meteoróloga de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

Takahashi, K., and Dewitte, B., 2015: Strong and moderate nonlinear El Niño regimes, *Climate Dynamics*, doi:10.1007/s00382-015-2665-3.

Takahashi, K., A. G. Martínez, y K. Mosquera, 2015: The very strong 1925-26 El Niño in the far-eastern Pacific. En preparación para *Journal of Climate*.

Vera, M., 2015: Crecimiento y mortalidad de concha negra *Anadara tuberculosa* (Arcoida: Arcidae), asociados a los parámetros físicos en los manglares de Zarumilla, Tumbes, Perú, Tesis de Magister en Ciencia y Tecnología Marinas, Universidad Europea Miguel de Cervantes, Valladolid, España.

Vitor, J., 2015: Impacto de la variabilidad ambiental sobre la estructura y dinámica poblacional de *Ucides occidentalis* (Ortmann 1987) en los Manglares del río Tumbes y Zarumilla, Tesis Maestría Biología, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.