



**POTENCIALES EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL SOBRE LA  
RED TRÓFICA DE LA AVES PLAYERAS DEL GÉNERO *CALIDRIS* EN  
SISTRATOS BLANDOS DEL PACÍFICO COLOMBIANO**

**PROYECTO DE GRADO**

**LINA YISETH GUZMÁN RODRÍGUEZ**

**UNIVERSIDAD ICESI  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES  
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA  
CALI  
2013**

**POTENCIALES EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL SOBRE LA  
RED TRÓFICA DE LA AVES PLAYERAS DEL GÉNERO *CALIDRIS* EN  
SISTRATOS BLANDOS DEL PACÍFICO COLOMBIANO**

**LINA YIETH GUZMÁN RODRÍGUEZ**

**PROYECTO DE GRADO**

**LEONARDO HERRERA OROZCO, PH. D.**

**UNIVERSIDAD ICESI  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES  
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA  
CALI  
2013**

## TABLA DE CONTENIDO

Resumen .....	7
Abstract.....	8
1. Introducción.....	9
2. Problema a tratar.....	11
2.1 Definición del Problema.....	11
2.2 Formulación y Análisis del problema.....	11
2.3 Justificación.....	12
2.4 Delimitación .....	13
3. Marco de Referencia.....	14
3.1 Antecedentes .....	14
3.2 Marco Teórico.....	16
3.2.1 Redes tróficas.....	16
3.2.2 Ecosistema de plano lodoso.....	17
3.2.3 Ecosistema de playa arenosa.....	19
3.2.4 Biología de las aves playeras del genero <i>calidris</i> (familia scolopacidae) .....	20
3.2.5 Cambio climático.....	22
3.2.6 Cambio climático y ecosistemas marinos y costeros.....	25
3.2.8 Modelación ecológica .....	26
4. Objetivos .....	29
4.1 Objetivo General .....	29
4.2 Objetivos Específicos.....	29
5. Metodología.....	30
6. Resultados.....	33
6.2 Las playas arenosas y los planos lodosos del pacífico colombiano .....	36
6.3 Red trófica de <i>calidris mauri</i> en las costas del pacifico colombiano .....	37
6.4 Modelo conceptual .....	39
7. Discusión .....	44
8. Conclusiones .....	52
9. Recomendaciones.....	53
10. Bibliografía .....	54
Anexos.....	62

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> .Escenarios simplificados de cambio climático planteados por el IPCC .....	24
<b>Tabla 2</b> .Parámetros climáticos para la evaluación del modelo conceptual en dos escenarios con respecto al periodo 1971- 200.....	31
<b>Tabla 3</b> . Poblaciones a nivel mundial y local de los playeros <i>Calidris</i> presentes en Colombia.....	34
<b>Tabla 4</b> . Abundancia de macroinvertebrados en parcelas de 1m <sup>2</sup> en planos lodosos de Punta Soldado.....	38

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Ubicación de los proyectos de adaptación al Cambio Climático en Colombia.....	13
<b>Figura 2.</b> Bajo de la Cunita, Bocana de Iscuandé.....	18
<b>Figura 3.</b> Playa arenosa.....	19
<b>Figura 4.</b> Morfología del playero pico recto <i>Calidris. mauri</i> .....	20
<b>Figura 5.</b> Forma de alimentación de los playeros <i>Calidris</i> .....	21
<b>Figura 6.</b> Tendencia e incremento de la temperatura y el dióxido de carbono.....	23
<b>Figura 7.</b> Aporte de los diferentes tipos de gases de efecto invernadero (GEI) y tendencia creciente de su concentración en la atmósfera entre 1970 y 2004.....	23
<b>Figura 8.</b> Modelo predictivo de precipitación para Colombia hacia finales del siglo XXI.....	25
<b>Figura 9.</b> Etapas en planteamiento y la realización de un modelo.....	27
<b>Figura 10.</b> Sub-modelo A.....	40
<b>Figura 11.</b> Sub-modelo B.....	41
<b>Figura 12.</b> Sub-modelo C.....	41
<b>Figura 13.</b> Sub-modelo D.....	41
<b>Figura 14.</b> Sub-modelo E.....	41
<b>Figura 15.</b> Esquema de red trófica de <i>C. mauri</i> en el pacífico colombiano.....	43
<b>Figura 16.</b> Modelo integrativo para las vías de modulación que las variables de cambio climático ejercen sobre la red trófica de <i>C. mauri</i> . .....	43

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Matriz de Marco Lógico.....	62
--------------------------------------	----

## RESUMEN

La modelación ecológica es una herramienta que les permite a los investigadores aproximarse al entendimiento del funcionamiento de los ecosistemas mediante la simplificación y la integración de las variables de mayor relevancia.

Se generó un modelo de tipo conceptual para la interacción de 3 variables de cambio climático y su influencia en la red trófica de las aves playeras del género *Calidris* en el Pacífico colombiano, más específicamente para la especie *Calidris mauri*. Las variables en consideración fueron: cambios en la precipitación, aumentos en el nivel del mar y aumentos de temperatura del sustrato, para dos lapsos de tiempo que se circunscriben en la familia de escenarios A2, planteados por el IPCC y adaptados para Colombia, en los sustratos playa arenosa y plano lodoso.

Para la elaboración del modelo se formularon sub-modelos para cada variable, que fueron luego evaluados y reunidos en un modelo global. La evaluación de este modelo para el escenario 2011-2040 revela que la afectación de las variables del cambio será leve gracias a la gran plasticidad de la dieta y a la posibilidad de movimiento entre distintos sitios de re-abastecimiento. Todos los sucesos acaecidos en esta primera etapa se ven agudizados en un segundo periodo de finales de siglo (2070-2100) a excepción del arrastre de materia orgánica y la sedimentación, que se mantiene casi constante en las zonas de mayor importancia para las aves playeras *Calidris*, como lo son la Bahía de Buenaventura, Málaga y El Parque Nacional Natural Sanquianga.

Para finales de siglo se prevé que la disponibilidad de alimento se vea afectada principalmente por los aumentos de temperatura que podrían inducir mortandad en los invertebrados y bajas en las capturas por efecto de la termo-evasión. Se esperan cambios a nivel comportamental que involucran modificaciones en las estrategias de forrajeo, como la mayor proporción de probadas en el fango con respecto a las picadas en superficie buscando maximizar la captura. Se espera también la exploración más fuerte de nuevos nichos, como el consumo de *biofilm*. Es posible que el aumento del nivel del mar tenga, en general, un efecto negativo sobre la oferta alimenticia debido a que ocurre una reducción del área de forrajeo.

Las implicaciones del modelo a nivel local involucran la afectación de las hembras y los juveniles debido a que constituyen la mayor proporción de *Calidris* en el pacífico. De esta manera el cambio climático surte un efecto transgeneracional que podría repercutir en las poblaciones que usan la Ruta Migratoria del Pacífico.

**Palabras clave:** Red trófica, Modelación ecológica, Costa Pacífica colombiana, Aves playeras *Calidris*, Cambio Climático Global.

## ABSTRACT

The ecological modeling it's a tool that allows researchers to approach the understanding of how ecosystems work through simplification and the integration of variables of most relevance.

It generates a conceptual model for the interaction of 3 variables of climatic change and its influence in the trophic web of the shorebirds of the genus *Calidris* in the Colombian Pacific Coast, especially, the species *Calidris mauri*. The variables in consideration are: changement in the precipitation, the increase in the sea level, and the temperatures increment, for the two lapses of time circumscribe the scenarios of the family A2, proposed for the IPCC and adapted in Colombia for the sandy beaches and the mud flats.

For the elaboration of the model, sub models were formulated for each variable that later were evaluated and gathered in a global model. The evaluation of this model for the scenario 2011-2040 reveals that the effect of the variables of change will be slight thanks to the great plasticity of the diet and the possibility of the movement between different places of refueling. Every event occurred in this first stage are heightened in a second period in the end of the century (2070-2100) to the exception of the drag of organic matter and the sedimentation, that it keeps almost constant in zones of great importance for the shorebirds *Calidris*, like the ones in Bahia de Buenaventura, Malaga and Parque Nacional Natural Sanquianga.

By the end of the century is expected that the availability of food it's going to be affected mainly for the increment of temperature that could include mortality in the invertebrates and low availability by the effect of thermo avoidance response. It is expected changes in the behavioral level that involves modification in the foraging strategy like most of the proportions of probing in the mud respecting the picking in the surface, searching maximize the capture. It is expected also the exploration of new niches like the consume of biofilm.

It's possible that the increase of the sea level hold in general a neutral effect because of the area that increased for intrusion in the beach could be countered for the anthropic occupation in the areas.

The implication of the model at local scale involves the effect of the females and the youth because they are the most population of *Calidris* in the Pacific. In this manner the climatic change make a transgenerational effect that might have repercussions in the populations on Pacific Flyway.

**Key words:** Trophic web, Ecological modeling, Colombian Pacific coast, *Calidris* shorebirds, Global Climate Change



## 1. INTRODUCCIÓN

Seis son las presiones que se ejercen y amenazan todos los biomas del planeta: transformación del hábitat, expansión de la frontera agrícola, sobreexplotación de recursos, contaminación, introducción de especies invasoras y, de forma más reciente, el cambio climático. Todo lo anterior se desprende de la demanda constante y creciente de los modos de producción que el mundo actual exige del planeta (Cifuentes-Sarmiento & Ruíz-Guerra, 2009).

El cambio climático constituye uno de los problemas que afectan las poblaciones naturales, porque incide directamente en el medio abiótico en el que éstas se desarrollan (Dale *et al.*, 2001). Sus manifestaciones primordiales corresponden al calentamiento de la atmósfera y el consecuente derretimiento de la capa de permafrost, el ascenso del nivel del mar, el recrudescimiento de las condiciones de sequía, las precipitaciones copiosas en las regiones tropicales, y el aumento sustancial de la cantidad de vapor de agua en la parte superior de la troposfera (IPCC, 2007). Tales modificaciones del entorno redundan en cambios a nivel fenológico, que pueden abarcar amplitud o disminución en sus rangos de distribución y alteraciones en los periodos de cría y migraciones (Parmesan & Yohe, 2003).

Las aves migratorias, dentro de las cuales se encuentran las del género *Calidris* son vulnerables al cambio climático. Lo son principalmente porque este evento no solo afecta la tasa metabólica como consecuencia de los incrementos de temperatura, sino que compromete su éxito reproductivo y el éxito de su migración (Crick, 2004). Actualmente, uno de los campos activos de la investigación en aves se centra en el potencial de respuesta de las aves al cambio climático y antropogénico.

Colombia constituye una parada de re-abastecimiento para las aves playeras que usan la Ruta Migratoria del Pacífico (Ruiz-Guerra, 2004; Johnston-Gonzales, et al., 2010). La buena oferta alimenticia en invertebrados se encuentra en algún grado correlacionada con los picos de mayor abundancia de *Calidris* (Butler *et al.*, 2001). No obstante, para evaluar la vulnerabilidad de una especie a las amenazas por cambio climático se requiere más que estudiar la oferta de alimento. Aspectos como los números poblacionales, el tamaño corporal entre otros aspectos de la historia natural deben ser tenidos en cuenta.

En las últimas décadas la comprensión del fenómeno del cambio climático ha mejorado gracias a la modelación. Este recurso ha sido ampliamente utilizado en ecología para *aproximarse* al conocimiento sobre el funcionamiento de los ecosistemas (Jørgensen & Fath, 2001). Los modelos recogen los aspectos *básicos* que describen los procesos mediante los que interaccionan los elementos dentro de éstos. Todo modelo es por definición, imperfecto y no recoge al detalle la gran complejidad de los entornos naturales (Mancera *et al.*, 2003).

La nueva disciplina de la modelación está cada vez más apoyada en el desarrollo de la computación (Mancera *et al.*, 2003). Así, sus aplicaciones han aumentado, cobrando relevancia en la facilitación de la toma de decisiones en manejo de recursos de carácter multi-específico y la discusión sobre la teoría ecológica, como por ejemplo, la relación entre diversidad y estabilidad (Angelinni y Agostinho, 2005)

En Colombia, la información de la biología alimentaria de las aves playeras y de otras de sus dinámicas es fragmentada y de vieja data. Son menos frecuentes aún los trabajos sobre la incidencia que puedan tener algunas de las variables climáticas en las interacciones ecológicas de las especies costeras. El uso que se ha dado a los modelos está sesgado, primordialmente, a la predicción de los cambios en los patrones meteorológicos para las distintas regiones, los patrones de las fuentes hidrológicas y la industria pecuaria.

En el presente trabajo, para la generación de un modelo conceptual que permitiera dilucidar las variables plausibles que bajo influencia del cambio climático modifiquen la red trófica de las aves playeras, se realizó la revisión de literatura que en el país se ha generado sobre el tema. Con ayuda de estudios llevados a cabo en otras partes del mundo se cotejaron hábitos alimenticios, se extrapolaron aquellos que correspondían con las condiciones del Pacífico y se analizaron las variables de cambio climático.

La sección de *Resultados* comprende el esquema del modelo conceptual que se propone y de los submodelos a partir de los cuales se concibió. Se expone una serie de variables que la literatura reporta como incidentes en la estructuración de la red trófica, la direccionalidad de su efecto y su inclusión en el modelo. La sección de *Discusión* se presenta lo que la autora considera serán los efectos concretos de las variables y las posibles consecuencias a nivel local. Las dos últimas secciones de *Conclusiones* y *Recomendaciones* recogen las apreciaciones principales que se desprenden del modelo y lo que a título personal se sugiere debe ser trabajado en el tema de aves playeras.

Este modelo conceptual pretende ser un aporte preliminar, con aplicaciones posteriores como base esquemática propicia para levantar las etapas restantes en la formulación de modelos dinámicos, específicamente, para la red trófica de las aves del género *Calidris* bajo escenarios de cambio climático en el Pacífico colombiano.

## 2. PROBLEMA A TRATAR

### 2.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El cambio climático global está afectando las diversas comunidades animales y vegetales, modificando las variaciones intrínsecas de las dinámicas espacio-temporales propias de cada comunidad. El presente trabajo de investigación desarrollará una aproximación al entendimiento de los impactos del cambio climático global sobre la red trófica asociada a las aves playeras del género *Calidris* en dos de los ecosistemas del litoral pacífico, empleando como herramienta la modelación ecológica.

### 2.2 FORMULACIÓN Y ANÁLISIS DEL PROBLEMA

Los desórdenes naturales están siendo intensificados debido al cambio climático (Botkin *et al.*, 2007). En las costas colombianas dichos desordenes comprenden la intensificación de las tormentas en el Caribe, la alteración de los regímenes de lluvias, aumentos en el nivel del mar (que hacia 2060 podrían ser de 40 y 60 cm en el Atlántico y el Pacífico, respectivamente) y la aceleración de la pérdida de las coberturas de nieve en zonas glaciares (IDEAM., 2013). Tales desordenes han llevado a daños en la infraestructura y cambios en el uso de la tierra (Bueno *et al.*, 2008).

Esta intensificación ya ha pasado cuenta de cobro sobre algunas de las poblaciones animales en otros países latinoamericanos. Estudios de aproximadamente 10 años en Ecuador revelaron que aumentos anómalos de temperatura, en fenómenos climáticos periódicos como El Niño, afectan negativamente las poblaciones de aves playeras *Calidris* (*C. pusilla*, *C. minutilla* y *C. mauri*) (O'Hara *et al.*, 2007). Estos datos cobran relevancia si se tiene en cuenta que a nivel global se predicen futuros aumentos generales de la temperatura que podrían encrudecer hacia el último tercio de siglo (IPCC, 2007; Bedoya, *et al.*, 2010). La Costa Pacífica colombiana, representada por 1599 Km<sup>2</sup> de línea de costa, no será ajena a estos sucesos (Posada y Rozo, 2012)

Las consecuencias del cambio climático son solo una de las amenazas que enfrentan las poblaciones naturales. La magnitud de la afectación no es la misma para todas las especies y depende mucho de la ubicación geográfica en el planeta. No obstante, en mayor o menor medida, lo que sí parece claro es que las manifestaciones ya están ocurriendo y su tendencia continúa.

Las consecuencias del cambio climático y la afectación antropogénica de las playas arenosas y los planos lodosos juegan en la dinámica de las comunidades naturales residentes. Es necesaria la contribución al conocimiento de estos ecosistemas que albergan especies ecológicamente importantes como base en la conexión de los sistemas tróficos marinos y terrestres, cuya protección redundará en la salvaguardia para otras especies

(especies sombrilla) en varios ecosistemas a nivel hemisférico, como es el caso de las aves playeras (Johnston-Gonzales *et al.*, 2010).

### 2.3 JUSTIFICACIÓN

Cerca del 20% de la avifauna acuática de Colombia corresponde a aves playeras. Aunque se han logrado avances importantes en el conocimiento de estas aves, aún no se conoce con claridad cuál es la causa del decrecimiento que sufren las poblaciones en el país (Johnston-Gonzales, *et al.*, 2010). Las aves del género *Calidris* aún no han sido suficientemente estudiadas (Naranjo, 2006) y la información existente es poca, fragmentada y requiere, en muchos casos, ser actualizada.

Este trabajo tiene la intención de constituir un aporte al conocimiento de la biología de la especie *Calidris mauri* y una aproximación a la dinámica local de la interacción cambio climático-red trófica para éstas aves.

En Colombia aunque hay investigación en Cambio Climático, ésta se ha concentrado tradicionalmente en la región Andina y la Costa Norte (Figura 1). Esto ha generado que otras regiones como la Amazonía, los Llanos Orientales y la costa del Pacífico sean aún poco entendidas (Cardona, 2009)

Es necesario aproximarse al conocimiento de la dinámica local y a los vacíos de información que permanecen, con el fin de generar nuevas preguntas que puedan orientar la investigación sobre las aves playeras y la realización de modelos que sean efectivos. Trabajar por la conservación de las aves migratorias es un esfuerzo mancomunado que debe nutrirse y actualizarse constantemente con la generación de información y particularidades de las poblaciones locales.

Desde el punto de vista de la conservación, trabajos como éste pueden servir como base para investigaciones posteriores que complementarán el conocimiento sobre cuáles podrían ser las respuestas de los números poblacionales bajo contextos de condiciones físicas que cambian en el tiempo.

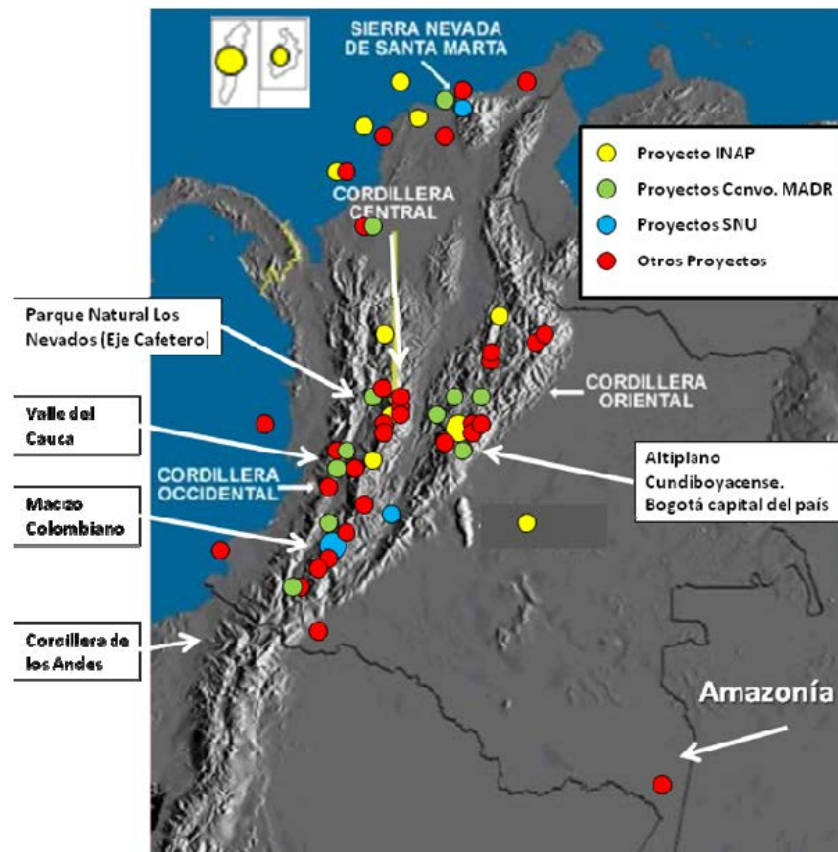


Figura 1. Ubicación de los proyectos de adaptación al Cambio Climático en Colombia. Tomado de (Cardona, 2009).

## 2.4 DELIMITACIÓN

Este proyecto tiene como finalidad elaborar un modelo *conceptual* de tipo *hipotético* acerca de los posibles impactos que el cambio climático global está generando al ambiente físico de los sustratos blandos del Pacífico colombiano. Se relacionará las variables escogidas con factibles consecuencias en la cadena alimenticia de las aves del género *Calidris*, teniendo como modelo una de las especies de mayor ocurrencia: *Calidris mauri*. Se pretende realizar un ejercicio que permita conectar las variables en un modelo conceptual y analizar sus posibles implicaciones.

El trabajo a desarrollar tiene un propósito principalmente descriptivo, que pretende identificar las variables *correspondientes a cambio climático*, apoyándose en la generación de un modelo ecológico en diferentes escenarios, que representará el producto final del proyecto. Los escenarios no indican futuros obligados; por lo tanto solo constituyen hipótesis que se desprende de un análisis del tipo “que sucedería si” más que de un intento de pronóstico.

### 3. MARCO DE REFERENCIA

#### 3.1 ANTECEDENTES

Aunque la incidencia del clima, y en general del ambiente abiótico han sido ampliamente documentadas y reconocidas por la comunidad científica, como factores claves en biología y supervivencia de las especies, solo la reciente aceptación de que el cambio climático es una realidad actual, ha despertado el interés por conocer cuáles y cuan profundos pueden ser los cambios que traiga consigo (Crick, 2004)

Las variaciones del clima se han venido observado desde hace aproximadamente 150 años, pero el registro asiduo y consistente con tecnología satelital, solo ha sido posible desde la década de 1970 (IPCC, 2007). Para el análisis de los datos generados a través del tiempo, se creó en el año 1988 el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC, por sus sigla en inglés), organismo encargado de la evaluación y síntesis de las observaciones de miles de investigadores alrededor del mundo en materia de cambio climático.

El IPCC define el cambio climático como *“un cambio en el estado del clima identificable a raíz de un cambio en el valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades y que persiste en periodos prolongados, generalmente cifrados en decenios o en periodos más largos. Denota todo cambio en el clima a lo largo del tiempo, tanto si es debido a la variabilidad natural como si es consecuencia de la actividad humana”* (IPCC, 2007)

Sin embargo la del IPCC no es la única definición que se conoce. En la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, se definió éste como *“Un cambio del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables”* (ONU, 1992).

En el año 2000 se modelaron 6 posibles familias de escenarios por los que podrían discurrir las fuerzas rectoras de los cambios climáticos a nivel mundial (IPCC, 2000). La utilidad de tales modelos radica en que permiten tener un esquema hipotético de cómo podrían fluctuar las variables climáticas y con ellas las interacciones entre especies, de acuerdo con las emisiones presentes y futuras de gases invernadero (GEI), además de la incertidumbre asociada a tal interacción. De ellos se han desprendido iniciativas de mitigación que favorecen la adaptación de los sistemas naturales y sociales a las condiciones que se prevén preponderantes (IPCC, 2000).

Dentro de las aproximaciones al conocimiento de las aves playeras que han empleado la modelación se han abordado varios aspectos. Wolf *et al.*, (2010) elaboraron un modelo regional para el sudeste de la Isla Farallón (California) en el que se estudió la influencia de la temperatura producto del cambio climático,

sobre el sistema de surgimiento de la corriente de California y su relación con el *fitness* de la acueta oscura (*Ptychoramphus aleuticus*). El estudio demostró que un aumento en la temperatura superficial del mar surtía algún efecto negativo en el reclutamiento y en el éxito reproductivo.

Se han modelado posibles cambios en los rangos de distribución de las aves. Para los países centro americanos, como Costa Rica, los modelos predicen la ampliación de la distribución altitudinal por la colonización de aves de las partes bajas en el bosque nublado, posiblemente como respuesta al ascenso de la temperatura (Crick, 2004). Se han modelado además los posibles efectos de la selección natural y la plasticidad fenotípica de las aves frente al cambio climático. Los resultados sugieren que muchas de ellas no pueden ajustar sus tiempos de partida, llegada y puesta para maximizar el aprovechamiento del entorno cambiante en las zonas de apareamiento (Baker, et al., 2003; Meltofte, et al., 2009). También se ha sugerido que esto sea posible para algunas playeras, aunque para que dicho ajuste redunde en beneficio de las aves debe haber sincronía con el cambio que se produce en los recursos (Johnston-Gonzales, et al., 2010). Este punto es una potencial falencia que las convierte en blancos susceptibles porque compromete su éxito reproductivo.

Okey *et al.*, (2004), basados en trabajos en modelación, encontraron que las redes tróficas en la Isla Galápagos, son un sistema altamente diverso en el que la productividad estaba regida por el surgimiento de las aguas frías ricas en nutrientes; además identificaron las especies depredadoras más importantes del ecosistema y establecieron la estructura y las relaciones entre las poblaciones.

En Colombia una de las aplicaciones de la modelación ha sido la formulación de las consecuencias del cambio climático global a nivel local (Bedoya, et al., 2010). Estas estimaciones se recogen en la Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (SCN) para escenarios enmarcados en los modelos del IPCC en el periodo 2001 a 2100.

En el país, los estudios de modelación referentes a redes tróficas en ecosistemas acuáticos se han centrado en la bio-acumulación de toxinas y estructuración de las redes tróficas en peces. En ecosistemas lóticos de la Amazonía se han estudiado la estructura de sus redes y se han involucrado las aves como parte de los organismos que participan (Andramunio-Acero & Caraballo, 2012). De forma específica y dentro de los documentos revisados para el presente trabajo no se encontró para Colombia esfuerzos de modelación para las aves playeras que involucren su red trófica.

Varios autores coinciden en el decrecimiento casi generalizado de las aves playeras en todo el mundo (Baker, *et al.*, 2003; Şekercioğlu, *et al.*, 2004; Bart, *et al.*, 2007). Otro aspecto abordado son las consecuencias de la disminución en la disposición de alimento y su relación con la acumulación de grasa y las demandas energéticas durante la migración, temas que han sido estudiados con el uso de modelos lineales y no lineales (Baker, et al., 2003)

Actualmente, Colombia hace parte de la Red Hemisférica de Aves Playeras; esta iniciativa se desarrolló en 1986 y busca reunir países de todo el continente americano con el fin de proteger los hábitats claves del continente, hacer seguimiento a las poblaciones y aunar esfuerzos de conservación para crear conciencia en los distintos sitios de uso de las aves a lo largo de su ciclo vital (RHRAP, 2009)

## **3.2 MARCO TEÓRICO**

### **3.2.1 Redes tróficas**

Por definición, una red trófica es la representación de las relaciones de depredación dentro de una comunidad ecológica (Hui, 2012). La depredación se define como la interacción ecológica en la que un individuo se constituye en presa, dado que es devorado por otro, encontrándose la presa viva cuando el depredador ataca por primera vez (Krebs, 2009). Este tipo de interacción es crucial porque afecta la supervivencia y la obtención de energía vital para el sostenimiento de procesos de crecimiento, desarrollo, metabolismo y reproducción, y también constituye un mecanismo de control entre especies. De este modo la depredación asegura el flujo de energía en los ecosistemas en un sentido ascendente, desde los productores primarios (Hui, 2012).

Las redes tróficas constituyen un método relativamente práctico para explicar la estructura de las comunidades y en parte, los flujos de energía y nutrientes (Andramunio-Acero & Caraballo, 2012). Estas interacciones son de carácter dinámico y se ha convenido organizarlas según niveles. La delimitación de los niveles no es fija ya que muchos consumidores pueden alimentarse de presas distintas que se ubican en niveles tróficos distintos (Paine, 1980).

El entorno físico puede modificar los flujos de energía y materia dentro de las redes tróficas. Un ejemplo es la modificación en el reciclaje que las bacterias hacen en los ambientes oceánicos, a raíz de una intensificación de turbulencias en el movimiento del agua (NSF, 2012). Tales modificaciones pueden ser positivas, negativas o incluso neutras, dependiendo de la fenología de las especies y de la plasticidad o capacidad de cambio de la misma (MØller, *et al.*, 2004).

Las dinámicas tróficas se controlan mutuamente y la forma de control dentro de una comunidad puede ser flexible conforme ocurran alteraciones en el sistema. En los sistemas naturales los organismos de niveles tróficos más bajos, denominados productores primarios, hacen el aporte más significativo a la biomasa total del ecosistema y contienen la mayor cantidad de energía (Krebs, 2009). Si una perturbación del entorno mengua o limita el desarrollo de la estructura de los productores primarios, se afectarán las poblaciones y la estructura de los niveles subsiguientes mediante una reacción en cadena que rompe el estado momentáneo de equilibrio. Este modelo de control se denomina *bottom-up* (Hui, 2012). Tal modelo generalmente promueve la



resiliencia del sistema (Fauchald, *et al.*, 2011), posiblemente mediante el movimiento entre estados de equilibrio ajustados a la oferta de recurso primario.

Si, por el contrario las poblaciones de consumidores terciarios controlan las densidades de sus presas, el control se conoce como *top-down* (Weis, 2008). Cuando una comunidad se encuentra principalmente bajo este tipo de control, se espera exhiba una variedad de estados estables e intermedios, que demuestran la plasticidad que pueden tener algunas cadena tróficas.

Existe un tercer tipo de interacción que integra los dos mencionados anteriormente y se conoce como *wasp-waist* (cintura de avispa). En éste el control del número de individuos que participan en la cadena lo ejercen especies que se encuentran en un nivel trófico medio desde el cual pueden regular a los predadores por el mecanismo *bottom-up* y a los productores primarios mediante control *top-down* (Fauchald, *et al.*, 2011).

Desde el punto de vista del control *bottom-up*, el cambio climático es la principal causa de cambios en las redes tróficas de los sistemas marinos, traduciéndose en cambios en los números de las poblaciones de los niveles superiores (Frederiksen, *et al.*, 2006; Fauchald, *et al.*, 2011). Se presume que la principal afectación del cambio climático a las redes tróficas se hace a través de la modificación funcional de los ecosistemas, más que por una actuación directa sobre la fisiología o morfología de los individuos (Bretagnolle & Gillis, 2011)

### **3.2.2 Ecosistema de plano lodoso**

El plano lodoso hace parte de los ecosistemas litorales, definidos como los espacios donde ocurren la interacción de los elementos terrestres (o continentales) y oceánicos, modelados por patrones meteorológicos y oceánicos, además de las intervenciones humanas (IDEAM, 2010).

Como se muestra en la figura 2, los planos lodosos son ecosistemas que se forman por el depósito de arenas, arcillas y detritus, carentes de consolidación y de complejidad geomorfológica relativamente baja (Morales, 2001; Batista-Morales, *et al.*, 2012). En Colombia tienen una extensión aproximada de 890.000 Km<sup>2</sup>. Para la bahía de Buenaventura el tamaño promedio de las partículas de los planos de lodo es de aproximadamente 125 µm; estos son, provenientes principalmente del sedimento arrastrado de los ríos y movilizado con las mareas, y mezclado con material vegetal en descomposición (Cantera & Blanco, 2001). Generalmente en este tipo de sustratos se encuentran también otro tipo de materiales, como arenas y piedras, ubicándose, habitualmente, en intermitencia con otros hábitats como las playas arenosas, las playas rocosas y litorales rocosos (Franke, 1986).

Este ecosistema es rico en especies de invertebrados, especialmente en descomponedores y carroñeros. Existe estratificación en la comunidad de

organismos de estos hábitats, encontrándose a mayor profundidad organismos como poliquetos y bivalvos. En comparación con las playas arenosas, los planos lodosos son menos diversos, pero ostentan mayores abundancias, es decir, son más productivos. Morales (2001) midió la composición porcentual de diferentes grupos de macrobentos, observando una mayor densidad de individuos en el plano lodoso, dentro de la evaluación de los ecosistemas morfológicamente menos complejos.

Un estudio realizado por Ruiz-Guerra (2004) obtuvo, para los planos lodosos del PNN Sanquianga (Nariño), abundancias relativas de aves playeras superiores a los otros hábitats, incluyendo la playa arenosa. En todos los registros mensuales la abundancia en planos de lodos fue superior, mínimo en un 50%. Las especies de *Calidris* (*C. minutilla*, *C. alba* y *C. mauri*), invierten la mayor cantidad de su tiempo en ésta zona. Estas zona es usada principalmente para el forrajeo. Otras zonas que por sus condiciones físicas están más desprovistas de organismos, como la región supra-litoral, son usadas para el acicalamiento y el descanso.

La gran influencia de las mareas y la proporción de su entrada y retirada en el litoral, delimitan en cierta forma, zonas de mayor abundancia de invertebrados. A medida que se acerca a la línea de marea baja (zona intermareal baja) la riqueza de especies aumenta, debido a que los organismos en ellas sufren menos estrés por desecación (Ruiz-Guerra, 2004). Estos factores modifican las relaciones de dominancias entre especies. Un ejemplo de ello es la dominancia en las zonas de plano lodoso de los poliquetos de los géneros *Capitella*, *Glycera*, *Thelepus*, *Neanthes* y *Streblosoma* (Cantera & Blanco, 2001)

Los planos lodosos contienen, en promedio 6% mayor contenido de materia orgánica frente a las playas arenosas (Morales, 2001).



Figura 2. Bajo de la Cunita, Bocana de Iscuandé. Tomado de 'Red Hemisférica de Reservas para Aves Playeras, 2009)

### 3.2.3 Ecosistema de playa arenosa

Las playas son unidades geomorfológicas definidas como espacios de material no consolidado que actúan como interfase entre el mar y la tierra (Batista-Morales, et al., 2012) El material del que se forman son partículas finas y medias (0,25 mm - 0,60 mm) (Ruiz-Guerra, 2004). De acuerdo a su procedencia pueden variar en tamaño y color. En el Pacífico, las playas tienen origen en el arrastre que los ríos hacen de los sedimentos de tierra adentro y en la erosión de acantilados y rocas (Cantera & Blanco, 2001) (Figura 3)

Las playas arenosas del Pacífico representan cerca del 7% del total de la línea de costa y tiene la particularidad de cambiar drásticamente de extensión en bajamar, hasta extensiones del orden de 400 metros. La fauna de las playas arenosas comprende microfauna, meiofauna y macrofauna, además de tortugas y aves playeras y marinas, residentes y emigrantes. Las playas arenosas del Pacífico pueden, además, almacenar volúmenes considerables de agua (Cantera y Contreras, 1993). Esta acumulación y la diversidad biológica depende de parámetros como la porosidad, la granulometría, la cantidad de gases disueltos, la luminosidad, la disposición de materia orgánica, entre otros.

En el Pacífico, la granulometría varía incluso en una misma playa; así algunas zonas pueden retener más agua, mientras que otras se colmatan reduciendo la cantidad de oxígeno y, de éste modo, la diversidad. Las playas son ambientes difíciles y la diversidad en ellas es baja comparada con otros ecosistemas costeros; sin embargo, son el hogar de distintos grupos funcionales como los carroñeros y detritívoros que participan activamente en los flujos de energía y reciclaje de materia (Cantera & Blanco, 2001; Schlacher, et al., 2008).



Figura 3. Playa arenosa. Nótese la extensión y las características secas del sustrato mientras baja la marea.

### 3.2.4 Biología de las aves playeras del genero *Calidris* (familia Scolopacidae)

El orden Charadriiformes comprende 18 familias, según la nomenclatura taxonómica de del Hoyo *et al* (1996) en Ericson, *et al.*, 2003; Fain y Houde, 2007. Una de las familias de este orden es Scolopacidae, dentro de la cual se encuentra el género *Calidris*. Los Escolopácidos se distinguen principalmente por la presencia de cuatro dígitos y escamas tarsales de forma romboide (Canevari, *et al.*, 2001).

El género *Calidris* constituye un grupo de aves playeras que habitan principalmente la línea de costa. Se caracterizan por poseer cuerpos redondeados, cuellos cortos, picos con aspecto de tubo y de longitud similar con la cabeza (figura 4) (Canevari, *et al.*, 2001). Estas aves están adaptadas además a ecosistemas de playas rocosas y humedales (Johnston-Gonzales, *et al.*, 2010).

Eventualmente pueden alimentarse en los humedales interiores como es el caso de *C. bairdii* y *C. melanotos*, mientras que especies otras como *C. canutus* y *C. alba* están principalmente en las costas. La diversidad de las aves playeras abarca además de la topología sistemas sociales de apareamiento, cuidado parental, ecología, historia natural y comportamiento migratorio (Canevari, *et al.*, 2001; Thomas, *et al.*, 2004).

Las principales variaciones morfológicas en el grupo se presentan a nivel del tamaño corporal y el aparato digestivo. Este último tiene la capacidad de reducir su tamaño para alivianar el peso durante la migración. El pico también presenta variación en tamaño y algunas veces en forma; en el caso particular de *Calidris* éste es recto, tubular y con estructuras táctiles que le permite un mosaico de adaptaciones ambientales a los ambientes que habita (Pretacci, *et al.*, 2005; Colwell, 2010; Wolf, *et al.*, 2010).



Figura 4. Morfología del playero pico recto *Calidris mauri*. Tomado de (Rouco, 2004)



En el mundo existen aproximadamente 19 especies de *Calidris* (Tabla 3). Algunas de ellas como *C.canutus* y *C. marítima*, *C.alpina*, *C.alba* y *C. ptilocnemis* divididas en subespecies (BirdLife International, 2013) De estas especies, 12 se han registrado en el territorio colombiano, aunque no todas lo visitan de forma regular y en grandes bandadas (Johnston-Gonzales *et al.*, 2010).

La dieta de *Calidris* se compone básicamente de macroinvertebrados de variados grupos, dentro de los cuales se encuentran almejas, poliquetos, isópodos, ostrácodos, anfípodos, eventualmente insectos y gasterópodos (Jimenez-Villa, 1995; Wilson, 1990). Algunos como *Calidris canutus* tienen afinidad por los moluscos pero también se ha encontrado que en las zonas árticas pueden exhibir plasticidad dietaria, alimentándose de frutos, comportamiento que no es muy común (Hicklin & Smith, 1979). Así pues, la plasticidad de su cadena alimenticia las favorece ante eventuales cambios ambientales que diezmen las presas de mayor consumo.

La morfología del pico en *Calidris* hace que sus hábitos alimenticios sean principalmente por sondeo en el sustrato (o por probadas), depredando así la infauna (Elner, *et al.*, 2005) (Figura 5). También pueden capturar presas que se mueven sobre el sustrato y recientemente se ha propuesto la depredación de biopelículas (*biofilm*) como una de las fuentes alimenticias principales en zonas de invernada, al norte de América (Kuwae, *et al.*, 2008). Sus competidores principales son otras aves playeras y aves *Calidris* dentro de una misma bandada. Pueden exhibir ciertos grados de territorialidad que al parecer, dependen de la abundancia de presas en las zonas de forrajeo (Macwhirter, *et al.*, 2002)

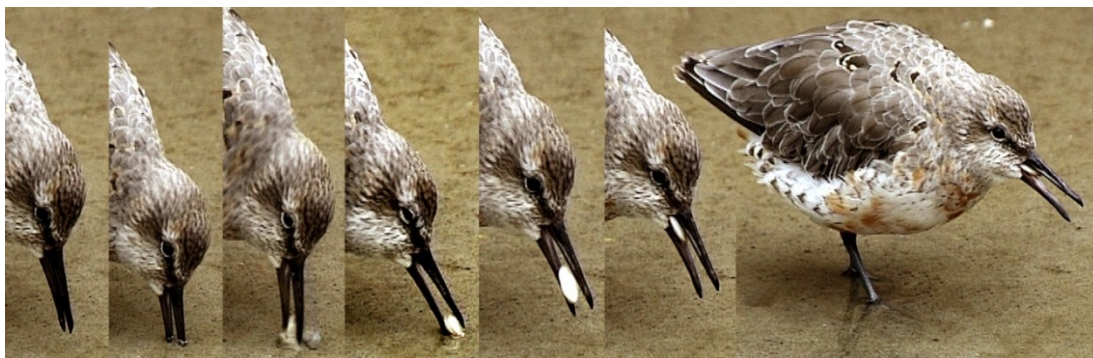


Figura 5. Forma de alimentación de los playeros *Calidris*. Serial de fotografía en la que, mediante la técnica de probadas, captura un bivalvo. Nótese la inmersión del pico. Tomado de [http://www.nioz.nl/tl\\_files/Fotos%20website%20editor/Onderzoek/mee/kanoet-eet-non-15.jpg](http://www.nioz.nl/tl_files/Fotos%20website%20editor/Onderzoek/mee/kanoet-eet-non-15.jpg)

Actualmente, los investigadores están de acuerdo en que los números de las poblaciones de aves playeras están disminuyendo. Evaluaciones realizadas por Stroud, *et al.*, (2004) a 131 poblaciones de 55 especies en el continente africano y en Europa occidental revelaron, en conjunto, que la cantidad de poblaciones en declive es del orden de cuatro veces mayor que las poblaciones que se encuentran en aumento o en estado estable. De las 131 poblaciones

evaluadas, 45 están categorizadas como especies en peligro por la UICN debido a la caída precipitada de sus poblaciones o a que, actualmente, ostentan números muy bajos, como es el caso de *Calidris alpina schinzii*. (Koivula & Rönkä, 1998).

En Colombia, las principales amenazas de las aves playeras estarían relacionadas con la desecación de los humedales y la destrucción antrópica de los ambientes que usan. Esta degradación se puede atribuir a la expansión agrícola, urbana y ganadera. No obstante, una buena proporción de los sitios de importancia para las aves se encuentran parcial o totalmente incluidos bajo alguna figura de protección. Este es el caso de cuatro sitios de interés prioritario: Sanquianga, como Parque Nacional Natural y como Santuarios de Fauna y Flora Los Flamencos, Ciénaga Grande de Santa Marta e Isla Salamanca. Los humedales andinos de importancia potencial para las aves también se encuentran protegidos en más del 50%. Actualmente, se plantea un decrecimiento en la calidad de los hábitats influida por el cambio climático y la contaminación sólida (Johnston-Gonzales, et al., 2010).

### **3.2.5 Cambio climático**

Desde la década de 1960, de la cual data la toma concienzuda de datos, la temperatura ha registrado cambios que se presumen se incrementarán durante este siglo y el siguiente. Se considera que si las tendencias actuales continúan y si no se toman acciones para la mitigación de la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), el panorama podría ser mucho más pesimista de lo planteado por el IPCC (IPCC, 2007).

La figura 6 muestra variaciones anormales de temperatura crecientes, que se corresponde con los aumentos de CO<sub>2</sub>, un gas de efecto invernadero (GEI) en la atmosfera. La presencia de estos gases hace que los procesos de disipación de luz sean interrumpidos y la atmosfera se caliente (Rahsmtorf, 2008). Esto se traduce en cambios de las condiciones climáticas como: la frecuencia y distribución de las épocas de sequía y lluvia en las diferentes partes del planeta, los cambios en el nivel del mar, las cubiertas glaciares y la temperatura atmosférica. La dirección de los cambios es difícil de predecir con precisión, máxime cuando tales sucesos ocurren a diferentes escalas y con distintas variables, cuyos efectos emergentes sobre los sistemas biológicos aún no entendemos (Harley, et al., 2006).

Las emisiones de CO<sub>2</sub> están aumentando vertiginosamente. Hasta 1970 se tenía un recuento de 28 Gt de CO<sub>2</sub> equivalente/año. En 2004 dicha cifra ascendió a 49 Gt de CO<sub>2</sub> equivalente/años, doblando la proporción en un lapso de tan solo 34 años. El cambio en la temperatura y el CO<sub>2</sub> ha mantenido un crecimiento exponencial y mucho más acelerado desde mediados del siglo XX (IPCC, 2007).

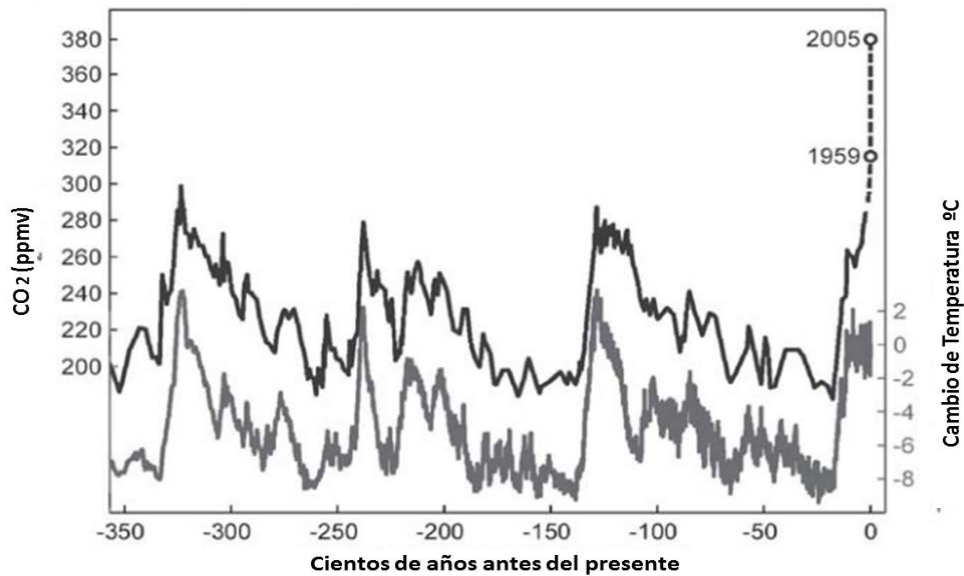


Figura 6. Tendencia e incremento de la temperatura y el dióxido de carbono. La gráfica muestra la relación del incremento de las dos variables en el lapso 1800-1900. Modificado de (Rahsmtorf, 2008)

La figura 7 muestra el cambio en el aporte que los diferentes sectores hacen en la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera. Nótese los mayores aportes que recientemente hacen la agricultura con aumentos de CH<sub>4</sub> (Gas metano) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) y la desmesurada proporción debido a la quema de combustibles fósiles (IPCC, 2007).

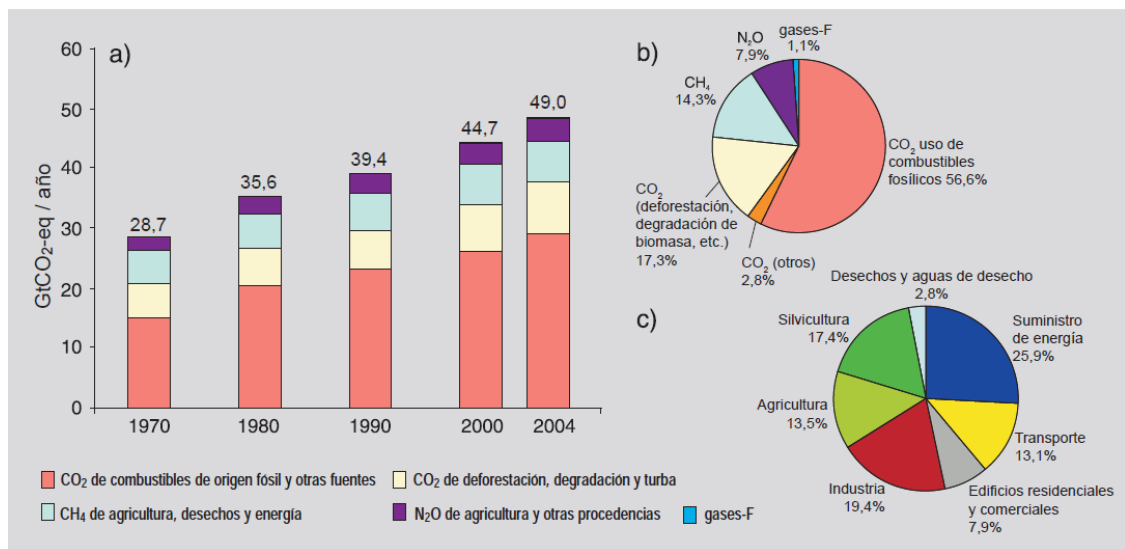


Figura 7. Aportes de los diferentes tipos de gases de efecto invernadero (GEI) y tendencia creciente de su concentración en la atmósfera entre 1970 y 2004. En la figura se discriminan los aportes de distintos sectores al total de CO<sub>2</sub> antropogénico. Tomado de IPCC (2007)

La tabla 1 muestra los intervalos entre los cuales se esperan oscilen en ascenso el nivel del mar y la temperatura bajo las distintas familias de escenarios de emisiones del IPCC. Tales familias difieren en las

direccionales y magnitudes de 4 variables clave que se han establecido como preponderantes en las actuales y futuras emisiones de GEI. Estas variables corresponden al aspecto demográfico, social, tecnológico y medio ambiental, cada uno con tendencias positivas o negativas según sea el contexto. Nótese que para todos los escenarios planteados por el IPCC bajo distintas proyecciones de emisión de CO<sub>2</sub> se muestran aumentos en el nivel del mar y la temperatura media atmosférica.

Tabla 1. Escenarios simplificados de cambio climático planteados por el IPCC. Tomado de (IPCC, 2007)

Caso	Cambio de temperatura (°C en 2090-2099 respecto de 1980-1999) <sup>a, d)</sup>		Aumento del nivel del mar (m en 2090-2099 respecto de 1980-1999)
	Estimación óptima	Intervalo <i>probable</i>	Intervalo obtenido a partir de modelos, excluidos los cambios dinámicos rápidos futuros del flujo de hielo
Concentraciones constantes en los niveles del año 2000 <sup>b</sup>	0,6	0,3 – 0,9	No disponible
Escenario B1	1,8	1,1 – 2,9	0,18 – 0,38
Escenario A1T	2,4	1,4 – 3,8	0,20 – 0,45
Escenario B2	2,4	1,4 – 3,8	0,20 – 0,43
Escenario A1B	2,8	1,7 – 4,4	0,21 – 0,48
Escenario A2	3,4	2,0 – 5,4	0,23 – 0,51
Escenario A1FI	4,0	2,4 – 6,4	0,26 – 0,59

Las condiciones físicas- geológicas, aunadas a otras de índole social generan que para el país las predicciones globales deban ser ajustadas. Los estudios para Colombia revelan que bajo la duplicación de CO<sub>2</sub> habrá un calentamiento generalizado para el país, aunque agudizado en algunas zonas. Las precipitaciones para la región Pacífica aumentarán considerablemente en la región Chocoana hasta en un 30% con respecto a la pluviosidad anual del periodo 1961-1990 (Figura 8). La tendencia seca se acentúa hacia el sur, principalmente en el Valle del Cauca y Nariño, aunque en general la región pacífica se hará hasta un 28% más lluviosa (Pabón, 2012).

La Segunda Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático es un documento que reúne los logros, desafíos y posibles futuros que el país enfrentaría en los próximos años. En este documento también se pone de manifiesto que en la primera mitad de este siglo, el 20% del país experimentará reducción en un margen de 10% a 30% con respecto a las precipitaciones. Así mismo podría ocurrir un aumento cada vez más pronunciado de la temperatura media hasta 2040 del orden de 2,4 ° C, que hacia el 2100 podría ser de 3,2 ° C. Tres de los cuatro departamentos que comprenden el Pacífico tendrán las mayores alzas en la temperatura (Valle del Cauca, Cauca y Chocó) (Bedoya, et al., 2010).



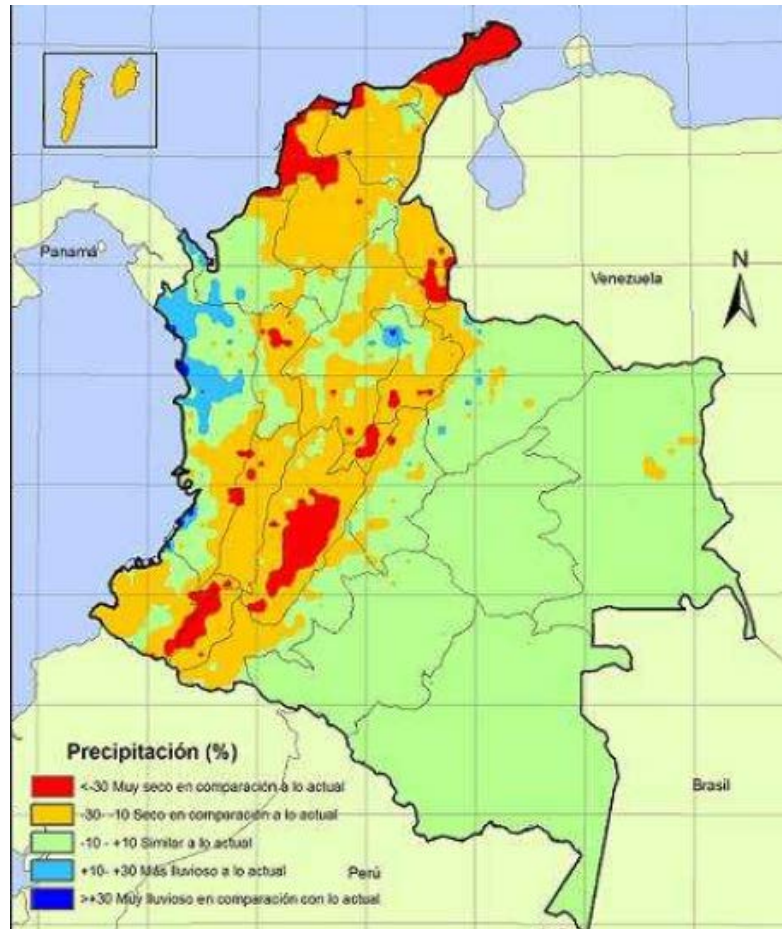


Figura 8. Modelo predictivo de precipitación para Colombia hacia finales de siglo XXI. El color rojo indica reducciones de aproximadamente el 30%; el color azul claro indica aumentos entre 10 y 30%, y el azul oscuro indica aumentos por encima del 30%. Estos porcentajes están basados en comparaciones al periodo 1961-1990. Tomado de Pabón (2012).

### 3.2.6 Cambio climático y ecosistemas marinos y costeros

En los ecosistemas marinos el recrudescimiento climático trae consecuencias que alteran las propiedades físico-químicas del mar y los sustratos. Estudios de caso en el Océano Pacífico ecuatoriano, entre 1991 y 1999, reportan la aparición anómala de aguas con temperaturas más elevadas de las usuales, consecuencia de El Fenómeno del Niño Oscilación Sur (ENOS). Las elevadas temperaturas produjeron un descenso en la calidad de nutrientes disueltos y la expansión térmica del agua, así como también un descenso en los niveles de oxígeno que, a su vez, diezmaron las poblaciones de productores primarios.

Con la llegada del ENOS no sólo disminuyó la oferta de presas, sino que aumentó en un factor de tres la pluviosidad (no de forma permanente), lo que finalmente elevó el nivel del mar reduciendo el espacio disponible en la playa y empeorando la falta de alimento debido a la reducción del espacio de forrajeo (O'Hara, *et al.*, 2007). Esta es la forma en la que el clima ejerce un control de tipo *bottom-up* sobre los depredadores.

Los sistemas marinos producen cerca del 43% de los bienes y servicios a nivel mundial (Wolf, *et al.*, 2010). En Colombia los ecosistemas marinos y costeros figuran dentro de los que el Gobierno Nacional considera vitales para la futura sostenibilidad del país, siendo así considerados como ecosistemas estratégicos (Posada & Rozo, 2012). Se define un ecosistema estratégico como aquel que es vital en la garantía de los bienes y servicios que impulsan el desarrollo de un país, así como aquellos que participan en procesos ecológicos básicos como la regulación del agua, purificación de aire y suelos o que poseen una alta biodiversidad (MADS, 2011).

### **3.2.7 *Calidris* y Cambio Climático**

Los playeros *Calidris*, habitan distintos ecosistemas a lo largo de su ciclo vital. Los ecosistemas de los que se abastecen están siendo desequilibrados por el deshielo, la contaminación, la eliminación y la sobreexplotación. Los cambios están ocurriendo en todos los ecosistemas que ocupan, pero la transformación más veloz es de las zonas de reproducción y cría. El derretimiento de la capa de nieve en estos sitios se encuentra ligado con la fenología de las aves, especialmente con los tiempos de apareamiento y migración (Butler, *et al.*, 2004). La puesta y el crecimiento de las crías dependen fuertemente de las condiciones climáticas, ya que éstas regulan, entre otros aspectos, la disponibilidad de alimento (Meltotte, *et al.*, 2009; Şekercioğlu, *et al.*, 2004). Los efectos del clima sobre el reclutamiento podrían incidir sobre los números poblacionales de las aves que arriban a Suramérica, repercutiendo de algún modo en las dinámicas locales.

Los cambios en los patrones climáticos son la principal amenaza para desestabilizar el reloj biológico reproductivo y poner en peligro la viabilidad de los juveniles, el reclutamiento y, de éste modo, el equilibrio de las especies de playeros y el de los ecosistemas de los que hacen parte. El pequeño tamaño, las altas tasas metabólicas y la acumulación de reservas de grasa para el arribo durante los primeros días en las zonas de apareamiento pueden ser afectados de forma severa y progresiva por el clima (Crick, 2004)

En escenarios pesimistas planteados por Şekercioğlu, *et al.* (2004), donde las poblaciones y sus rangos se reducen, se pone de manifiesto que las extinciones de las aves en general, serán mayores que los promedios estimados, especialmente cuando tiene ciclos reproductivos largos y hábitats exclusivos. Estos estudios son concordantes con los obtenidos por la IUCN, los cuales plantean que las poblaciones de aves decrecen anualmente 1.1%, en promedio.

### **3.2.8 Modelación Ecológica**

La modelación es un recurso ampliamente usado en ecología para aproximarse al conocimiento del funcionamiento de un sistema (Mancera, *et al.*, 2003). Estas simulaciones facilitan la toma de decisiones de manejo de recursos de

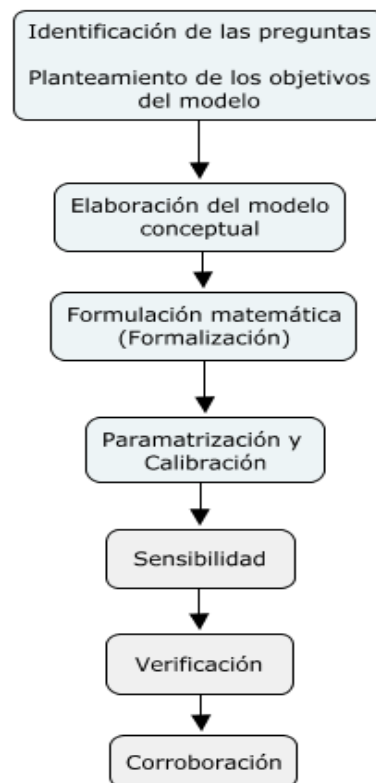
carácter multiespecífico, el análisis de efectos sobre las interacciones ecológicas (cascadas tróficas, migración, competencia, entre otros) y la verificación de relaciones entre diversidad y estabilidad (Angelinni & Agostinho, 2005)

Un modelo es una representación esquemática y simplificada de un sistema. Mancera *et al.* (2003), definen un sistema como “cualquier fenómeno tanto estructural como funcional que tenga al menos dos componentes separables y algún tipo de interacción entre ellos”

El uso de modelos ecológicos se remonta a la década de 1920 cuando los biólogos se percataron que el estudio de la ecología era aún incipiente y laxo con respecto a la descripción de interacciones importantes entre los componentes de los ecosistemas (Kingsland, 1995). Desde entonces la modelación en climatología y ecología ha permitido acercarse a los posibles efectos futuros del cambio climático global, dando bases para configurar planes de acción y contingencia (IPCC, 2007). La mayoría de estudios en modelación que se han hecho a propósito del cambio climático se han enfocado en el cambio en la distribución de las especies, pero poco se ha trabajado en los cambios poblacionales de las mismas (Wolf, *et al.*, 2010).

Para la construcción de un modelo se sigue la secuencia lógica de etapas que se muestran en la figura 9, adaptada de Mancera *et al.* (2003):

Figura 9. Etapas del planteamiento y la realización de un modelo. Modificado de (Mancera, *et al.*, 2003).



1. Debe definirse una pregunta de investigación que precisará los límites del sistema y acotará los procesos de recolección de datos. Dentro del proceso de delimitación del sistema deben tenerse en cuenta el nivel espacio-temporal y el cómo se estructura dicho sistema. Una vez definidos los límites se acotan las variables imprescindibles en el sistema y se levanta información para soportarla o retirarla del modelo.
2. El modelo conceptual es la diagramación de la conexión entre las variables que describen los influjos y eflujos intra-sistemáticos y los eventuales extra-sistemáticos que puedan incluirse.
3. La formalización consiste en conectar las variables mediante ecuaciones matemáticas que se ajusten a las interacciones. El proceso de parametrización involucra la asignación de valores constantes, propios del sistema, y de los valores que serán variables para probar la funcionalidad y el ajuste del modelo.
4. La calibración consiste en la constante comparación entre el sistema real y los resultados del modelo así como los re-ajustes. Esa retroalimentación debe ser constante, incluso en el futuro previendo cambios futuros en el comportamiento del sistema.
5. El siguiente paso es el análisis de sensibilidad, el cual pretende identificar cuáles son las variables de mayor peso, cuya modificación induce cambios drásticos o desviaciones. Este proceso se realiza cuando los modelos se someten a prueba en distintos escenarios.
6. La verificación comprende la evaluación del modelo con grupos distintos de datos, buscando encontrar fallos en el ajuste que no hayan sido detectados por el uso continuo de una misma serie de datos

Las anteriores etapas tienen validez para la formulación de cualquier modelo. La mejor comprensión que tenemos de la naturaleza es gracias a las nuevas formas de representarla que se han desarrollado y la modelación es parte intrínseca de la forma de entender los fenómenos naturales y del mundo actual.

### **3.3 APORTE CRÍTICO**

La modelación, como una herramienta para la simplificación, es una estrategia poderosa para mejorar la comprensión sobre qué puntos críticos son importantes considerar para enfrentar fenómenos como el Cambio Climático. Tener una aproximación al entendimiento de cómo funciona y como podrían comportarse en el futuro las poblaciones naturales, permite la formulación de planes de contingencia y mitigación frente al impacto sobre el bienestar humano y del medio ambiente en general. Los aportes al conocimiento en este ámbito aún son pocos, pero fenómenos como este, cifrados en décadas o siglos requieren esfuerzos seriales y de magnitud nacional y mundial.

## 4. OBJETIVOS

### 4.1 OBJETIVO GENERAL

Estimar los posibles impactos del cambio climático en la red trófica de las poblaciones de aves playeras del género *Calidris* (familia Scolopacidae), en playas arenosas y planos lodosos de la costa Pacífica de Colombia, mediante la generación de un modelo conceptual, ecológico e hipotético en diferentes escenarios.

### 4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer la situación histórica y actual de las poblaciones de las aves playeras *Calidris*, su papel, sus interacciones y funciones ecológicas.
- Identificar las características ambientales de los ecosistemas de playa arenosa y plano lodoso en la Costa Pacífica colombiana y realizar una descripción de los factores ambientales locales asociados a cambio climático.
- Evaluar dos escenarios propuestos por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático Global en un modelo ecológico hipotético de red trófica en ecosistemas playeros de la costa Pacífica de Colombia.

## 5. METODOLOGÍA

Siguiendo los pasos 1 y 2 propuestos por Mancera *et al.* (2003) para la generación de modelos dinámicos (figura 9), la primera aproximación al planteamiento del modelo fue la formulación de la pregunta de investigación: ¿Hay una influencia de las variables asociadas a cambio climático en la red trófica de *Calidris*? Para dar respuesta a la pregunta se realizaron los pasos en el orden en el que se denotan en la sección de *Objetivos*.

Para la generación de un modelo conceptual es indispensable un buen conocimiento del sistema. Buscando una visión más real del funcionamiento y los procesos, los objetivos específicos primero y segundo se enfocan en la recopilación de información local y de otras latitudes con respecto a los números poblacionales de las especies de *Calidris* que arriban a Colombia, aspectos de su biología alimentaria (tipo de dieta, temporadas de estadía, picos de abundancia, preferencias de sustrato y relación con la cantidad de presas a nivel local) y los factores relacionados con el cambio climático y la red trófica de *Calidris* que tienen lugar en la Costa Pacífica o que sean aplicables a ella, más específicamente aquellos que inciden sobre las playas arenosas y los planos lodosos..

Toda la información anterior se obtuvo de la literatura y de fuentes secundarias provenientes de trabajos de tesis que se consiguieron en la biblioteca de la Universidad del Valle y la Asociación Calidris, así como de artículos disponibles en internet .No se realizaron mediciones directas para ninguno de los casos.

Buscado simplificar y hacer más preciso el análisis del modelo, se escogió a la población de la especie *Calidris mauri* como la variable que representará a las aves playeras del género. Tal escogencia se basó en su gran abundancia en las costas colombianas, así como en la relativa amplia disposición de estudios sobre la especie en otros países como Canadá, Estados Unidos, Panamá e Inglaterra, la mayoría de ellos, parte de la Ruta Migratoria del Pacífico. La información sobre los tensores de cambio climático en el pacífico permitió hacer una escogencia parcial de las variables que en la búsqueda bibliográfica se habían identificado y el planteamiento de los supuestos de su inclusión en el modelo. La explicación de las variables se encuentra en la sección de *Resultados*.

Como se mencionó en la sección *Marco Teórico*, el tipo de control que sobre las redes tróficas marinas ejerce el cambio climático es del tipo bottom up. Dado que el énfasis del presente trabajo es la posible influencia de las variables asociadas a cambio climático, éste será el tipo de control que se asumirá predomina en la red trófica de *Calidris*. Los análisis correspondientes se presentan en la sección de *Discusión*.

Aunque la interpretación que presentará la autora del modelo conceptual es del tipo cualitativo, tal interpretación se enmarcará en los escenarios que se

generaron en el país por Ruiz (2010), para el IDEAM, presentados en Bedoya, *et al.* (2010), y basados en los modelos directrices del IPCC (2007).

La escogencia de dichos escenarios y las variables se fundamentan, básicamente en que son utilizados por organismos intergubernamentales que adelantan investigaciones en torno al afecto del cambio climático en Colombia, además de ser los más ajustables en sus supuestos a la realidad del país.

El contexto general de la familia de escenarios A2 en la que se enmarcan los escenarios a trabajar se caracteriza por mundo heterogéneo con una población mundial en continuo crecimiento hasta finales de siglo, un crecimiento económico reducido con economías y políticas de enfoque local y con desarrollo tecnológico lento, además de poca interacción cultural entre los países (IPCC, 2000). En esta matriz se evaluarán las variables climáticas implicadas en el modelo, que serán: cambios positivos de temperatura, de precipitación y aumentos del nivel del mar.

El modelo será analizado para los valores que tomen estas variables en dos momentos del siglo XXI, siguiendo los escenarios y las escalas temporales presentadas por Bedoya *et al.* (2010), tomando un primer periodo 2011-2040, a inicios de siglo, y un último lapso 2071-2100. Los valores de los parámetros que se usarán para evaluar el modelo se resumen a continuación (ver tabla 2).

Tabla 2. Parámetros climáticos para la evaluación del modelo conceptual en dos escenarios con respecto al periodo 1971-2000. Tomado de (Bedoya, et al., 2010)

Variables climáticas	Escenario		Valor de referencia (1971-2000)
	2011-2040	2071-2100	
<b>Aumento medio de temperatura (°C)</b>	1,4	3,2	26,8
<b>Cambio en precipitación (%)</b>	-10 -- + 10	-10 -- +10 -- + 30	476,8 mm
<b>Aumento del nivel del mar (m)</b>	0,3	1	

Para la diagramación de los sub-modelos y el modelo global se utilizó el programa Vemsin PLE. En el modelo global se denotan las variables de cambio climático mediante círculos coloreados de azul. Las variables que a su vez se ven afectadas por éstas se representan por círculos no coloreados. El hexágono representa una de las variables que no es consecuencia del cambio climático pero que afectan la red trófica a través de su posible incidencia en la probabilidad de éxito reproductivo. Este se conecta con un tipo distinto de flecha. El rombo del modelo representa otro tipo de interacción ecológica, de este modo no constituye una variable climática ni un componente de la red

trófica pero se ha puesto al margen del modelo porque se considera que para futuras aplicabilidades de éste modelo debe ser tomada en cuenta.

La incidencia de unas variables sobre otras está denotada con flechas. Cada variable climática puede afectar a más de una de las demás variables. Las diferencias en grosor hacen alusión a diferencias en la ponderación que la autora asigna de los efectos de éstas en la variable clave *oferta alimenticia*. Las flechas más gruesas representan las variables de mayor peso. Las flechas indican también la polaridad de la incidencia de una variable sobre otra. Dicha polaridad está denotada con signos más “+” para un efecto de aumento de una variable 1 sobre una variable 2, cuando la variable 1 aumenta; los signos menos “-” representan el caso contrario.



## 6. RESULTADOS

### 6.1 Situación histórica de *Calidris* y su rol ecológico

Las aves *Calidris* habitan muchas de las costas en los diferentes continentes. En algunos países, como la India, se encuentran en estado de amenaza debido a la cacería ilegal. Sin embargo una de las preocupaciones mayores con respecto a éstas aves está relacionada con el daño a su entono: el drenaje de humedales, la expansión del hombre hacia las zonas litorales y la contaminación del mar por descargas industriales (DSEWPC, 2013; Birdlife International, 2013)

Dentro de la recopilación de información se encontró que en Colombia las principales amenazas que enfrentan son de carácter antrópico y las afectan de forma directa o indirecta. Entre tales amenazas se cuentan la producción minero-energética, la expansión agrícola, acuícola y las zonas urbanas, los eventos geológicos, la contaminación y algunos animales domésticos, además de las perturbaciones que en mayor o menor medida ocurren por la presencia del hombre en los hábitats (Johnston-Gonzales, et al., 2010).

Se halló que a nivel mundial la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN) ha categorizado a todas las *Calidris* presentes en Colombia como especies bajo la categoría de “Preocupación Menor” Debido a que en la mayoría de los casos los números poblacionales son considerados muy grandes y no parecen acercarse a los umbrales de vulnerabilidad (Birdlife International, 2013). La tabla 3 presenta las estimaciones para el total de individuos de cada especie a nivel mundial, a nivel local (para quienes existe) y el histórico de sus categorías de amenaza desde el 2004. En Colombia todavía no se cuenta con un consolidado numérico para todas las especies de *Calidris* que arriban.

La mayoría de especies de aves playeras que visitan Colombia tiene números poblacionales del orden de los 300.000 individuos. *Calidris mauri* tiene una población mundial que se estima en 3.500.000 individuos, de los cuales 49.000 han sido registrados en territorio nacional; algunas estimaciones sugieren que su población puede llegar a los seis millones de individuos, siendo así la más abundante en la ruta migratoria del Pacífico (DSEWPC, 2013). Otro playero de representación es *C. minutilla*, con una ocurrencia de aproximadamente 1% de su población hemisférica (Johnston-Gonzales et al., 2010). Datos históricos tomados en varias regiones del país apuntan a que en años pasados las costas colombianas eran visitadas por una mayor proporción de playeras, esto evidencia un decrecimiento poblacional en la región (Johnston-Gonzales et al., 2010).

Colombia constituye una parada de reabastecimiento (o *stopover*) cuyas localidades más importantes en el andén Pacífico, consecuencia de la cantidad de aves que albergan, son el PNN Sanquianga, la bahía de Buenaventura y Málaga, y la bocana de Iscuandé. (Ruiz-Guerra, 2004; Johnston-Gonzales, et al., 2010; Franke, 1986). Tales sitios son aprovechados por las aves para las

actividades de alimentación, acicalamiento y reposo en el caso de *Calidris mauri*, en el forrajeo, con mayor intensidad en horas de marea entre cuando el espacio intermareal está descubierto aproximadamente hasta la mitad (Beltrán, 1986).

Tabla 3. Poblaciones a nivel mundial y local de los playeros del género *Calidris* presentes en Colombia.

Especie	Nombre común	Categoría de amenaza	Pobl. mundial actual (individuos)	Pobl. en Colombia (individuos)	Tendencia poblacional	Fuente
<i>C. canutus</i>	Playero rojizo	Preocupación menor (LC)	1,090 000	---	Decreciente	(DSEWPC, 2013)
<i>C. alba</i>	Playero blanco	Preocupación menor (LC)	620 000 - 700 000	---	Decreciente	(DSEWPC, 2013)
<i>C. alpina</i>	Playero común	Preocupación menor (LC)	2.86–6.4 millones	---	Decreciente	(DSEWPC, 2013)
<i>C. bairdii</i>	Playero de Bard	Preocupación menor (LC)	300 000	---	Estable	(DSEWPC, 2013)
<i>C. ferruginea</i>	Correlimos zarapitín	Preocupación menor (LC)	1,800,000 – 1,900,000	---	Creciente	(NSW Scientific Committee, 2011)
<i>C. fuscicollis</i>	Playero rabiblanco	Preocupación menor (LC)	315 000-353 000	---	Decreciente	(Birdlife International, 2013)
<i>C. melanotos</i>	Playero pectoral	Preocupación menor (LC)	25,000-100,000	---	Estable	(Birdlife International, 2013)
<i>C. minutilla</i>	Playero picofino	Preocupación menor (LC)	700 000	20 600-150 000	Decreciente	(Johnston-Gonzales, et al., 2010)
<i>C. pusilla</i>	Playero semipalmado	Casi amenazada (NT)	2,200,000	---	Decreciente	(Birdlife International, 2013)
<i>C. himantopus</i>	Playero zancón	Preocupación menor (LC)	820 000	---	Creciente	(Lebbin, Parr, & Fenwick, 2010)
<i>C. mauri</i>	Playero occidental	Preocupación menor (LC)	2–6.5 millones	49 000	Decreciente	(DSEWPC, 2013)
<i>C. temminckii</i>	Correlimos de Temmick	Preocupación menor (LC)		---	Desconocida	
<i>C. maritima</i>	Correlimos oscuro	Preocupación menor (LC)		---	Decreciente	
<i>C. ptilocnemis</i>	Correlimos roquero	Preocupación menor (LC)		---	Decreciente	
<i>C. acuminata</i>	Correlimos acuminado	Preocupación menor (LC)		---	Estable	
<i>C. tenuirostris</i>	Correlimos grande	Vulnerable (V)		---	Decreciente	
<i>C. subminuta</i>	Correlimos dedilargo	Preocupación menor (LC)		---	Desconocida	
<i>C. minuta</i>	Correlimos chico	Preocupación menor (LC)		---	Decreciente	
<i>C. ruficollis</i>	correlimos cuellirojo	Preocupación menor (LC)		---	Desconocida	

Actualmente, dentro de la lista de Prioridades de Conservación de Aves Playeras Neárticas en Colombia realizada por la Asociación Calidris se encuentran 8 de las 12 especies que visitan Colombia: *C. pusilla*, *C. minutilla*, *C. fuscicollis*, *C. bairdii*, *C. melanotos*, *C. himantopus*. *C. alba* y *C. mauri* son especies de alta preocupación dado que están categorizadas en los ítems *Tendencia Poblacional*, *Amenaza en Zonas de Invernada* y *Distribución en las Áreas de Reproducción* como especies de preocupación mayor (Johnston-Gonzales *et al.*, 2010). Tal categorización difiere de la presentada por la UICN, dado que toma en cuenta la aplicación de los criterios a nivel local.

Las tendencias indican que en el futuro las aves playeras podrían verse muy comprometidas, máxime bajo escenarios cambiantes en el ambiente físico (Crick., 2004; Baker *et al.*, 2003)

Según Petracci *et al.*, (2005), Canevari *et al.*, (2008), y Meltofte *et al.*, (2009), las aves *Calidris* son especialmente vulnerables por diferentes razones:

- Dependencia de sitios donde la producción de alimento suficiente es estacional: El derretimiento de las capas de hielo marca el inicio de la temporada reproductiva y la disponibilidad de alimento, que afecta el reclutamiento de juveniles en las zonas del Ártico (Meltofte, *et al.*, 2009). Para las zonas de invernada en Colombia se han encontrado que los picos de abundancias de los macroinvertebrados coinciden con el arribo de las aves (Jimenez-Villa, 1995). Si se da inicio a un descontrol fenológico en las fechas de llegada a las zonas de no-reproducción es posible que la sincronía de los recursos y las aves en las zonas de invernada, con el tiempo, se vea interrumpida y esto afecte la captación de energía en forma de grasa para continuar el vuelo hacia el sur.
- Hábitos que tienen una alta demanda energética (como migrar y pasar el verano en zonas frías).
- Tamaño de puesta pequeño. Generalmente sus puestas tiene cuatro huevos cada año. Estudios recientes demuestran que en la época reproductiva tardía los huevos pueden reducirse a tres, o incluso dos.

En Colombia las investigaciones en aves playeras sugieren que su conservación se traduce en la protección de otros elementos de la avifauna acuática, como el flamenco rosado (*Phoenicopterus ruber*), el chavarría (*Chauna chavaria*) y el pato colorado (*Anas cyanoptera*), además de otras especies como las tortugas marinas. *Calidris* es, entonces una especie sombrilla, cuyos esfuerzos de conservación cobijarían otras especies (Johnston-Gonzales, *et al.*, 2010).

Mediante su táctica de forrajeo las *Calidris* contribuyen, en algún grado, con la remoción y el reciclamiento de nutrientes en las sustratos blandos y los humedales, ya que la introducción y la sacudida de su pico remueve los sedimentos, promoviendo su rompimiento en partículas más pequeñas a la vez

que ayuda a una mayor entrada del detritus a capas de sustrato de mayor profundidad y la oxigenación (Johnston-Gonzales, et al., 2010).

La concentración de extensas bandadas en pulsos de depredación y remoción mecánica modula los efectos que sobre su entorno ejercen éstas aves (Elner, et al., 2005). Estudios en Colombia sugieren que *Calidris* no es un modulador fuerte de las abundancias de sus presas mediante la depredación (Jimenez-Villa, 1995). Podría decirse entonces que la Costa Pacífica Colombiana es un hábitat de calidad para estas aves ya que puede soportar la sustracción de macroinvertebrados a gran escala sin experimentar desabastecimiento significativo.

Por último, las aves *Calidris* han sido sugeridas como centinelas para monitorear los cambios en la salud de los ecosistemas costeros. Su ubicuidad continental y hemisférica es una característica que los investigadores han señalado como importante a la hora de establecer esfuerzos de conservación a gran escala. Cambios en los tiempos de arribo y partida, así como la acumulación de grasa pueden brindar indicios de cambios en las condiciones físicas de temperatura, derretimiento de las capas de hielo y aumento de la sedimentación del sustrato que podrían estar afectando el éxito reproductivo de las presas, la accesibilidad de las mismas y en últimas, la viabilidad de las poblaciones de aves (Seaman, 2003).

## **6.2 Las playas arenosas y los planos lodosos del Pacífico colombiano: tensores del Cambio Climático Global asociados**

Dentro de las amenazas que por cambio climático enfrenta el litoral pacífico se encuentran, principalmente, las relacionadas con el ascenso en el nivel del mar, el aumento de la pluviosidad para gran parte de la parte norte y centro del andén y los aumentos de temperatura, entre otros de tipo constante como la erosión por el oleaje (Bedoya, et al., 2010)

La mayoría del material sedimentario formador de estos sustratos es de origen volcánico y se congrega en la costa gracias a los contribuyentes Patía-Guaitará y Mira-Guiza en Nariño y Dagua, Naya y Anchicayá en el Valle del Cauca y el San Juan en el departamento de Chocó. Hacia al norte el paisaje está dominado por acantilados cuya erosión también es un aporte de materiales a largo plazo. El aumento del nivel del mar es un fenómeno acumulativo y de consecuencias inmediatas casi imperceptibles (Martínez-Ardila, et al., 2005)

Los 1495 Km de costa están dominados por deltas, marismas de mangle y acantilados activos que se esculpen por un régimen mareal fuerte y de gran extensión. A la fecha se han documentado retrocesos de la línea de costa que están relacionados con el ascenso del nivel y la erosión.

Aproximadamente el 33% de la línea de costa del Pacífico tiene niveles de riesgo de medios a altos en susceptibilidad para el retroceso de la línea de costa. Las playas de exposición directa son las mayormente afectadas ya que

no cuentan con ninguna protección. Esto disminuye la resiliencia de ese sistema.

La costa de los departamentos de Valle, Cauca y Nariño es denotada como una zona de riesgo Alto y Muy Alto de inundación, estimando las pérdidas por anegación parcial en 5.894 Km<sup>2</sup> o total en 617 Km<sup>2</sup>, principalmente donde los cambios de mareas alcanzan sus máximos puntos (5 m). Tales aumentos conllevarían a la desaparición de caseríos y zonas turísticas de Tumaco, Nuquí y Buenaventura (Martínez-Ardila, *et al.*, 2005)

### **6.3 Red trófica de *Calidris mauri* en las costas del Pacífico colombiano**

En diferentes latitudes se han investigado sobre los factores que influyen en la estructuración y dinámica de la cadena trófica de *Calidris mauri*. Recuérdese que esta es altamente flexible en cuanto a composición (Dekinga y Piersma, 1993; Wolf, 2001 en Seaman, 2003; Hernandez, *et al.*, 2004)

Esta cadena trófica está influenciada por diferentes variables de distintos órdenes. Una primera variable es de tipo morfológica y asociada al sexo y a las estrategias de forrajeo; otras con la competencia con otras aves playeras y otros invertebrados marinos (Kuwaie, *et al.*, 2008) y algunas corresponden a modificaciones del ambiente físico, como cambios en el sustrato, el hábitat disponible y las presas consumidas (Nebel & Thompson, 2005) (Fernández & Lank, 2008) (Nebel, *et al.*, 2002). Pese a que para Colombia los detalles de la ecología alimentaria aun requieren más aportes, es posible extrapolar situaciones similares que ayuden a la estructuración del modelo conceptual.

#### **Variedad en el consumo de las presas**

*Calidris mauri* es considerado un depredador oportunista (Ruiz, 2004; Elnor *et al.*, 2005). Evidencia de su plasticidad dietaria son los registros de los porcentajes de algunos vertebrados en la dieta. En California, Recher (1996, en Beltrán 1986), encontró que el 62% de las presas consumidas correspondían a ostrácodos, el 11.4% a gasterópodos de la especie *Ilyanassa obsoleta*, un 8,6% por anfípodos y un restante 8,6% por el poliqueto *Neanthes succinea*. En estudios realizados por Beltrán (1986) en la bahía de Buenaventura encontró que el 60.4% de la dieta correspondía a invertebrados no identificados, seguidos de larvas de Anthomyiidae con un 36.4% y porcentajes muy pequeños de cangrejos *Uca* y el bivalvo *Tagelus affinis*.

Trabajos realizados por Jiménez-Villa (1995) sobre la composición y cambio de la comunidad de macroinvertebrados debido a la depredación de playeros (entre ellos *Calidris*) para la bahía de Buenaventura nos ofrece pistas sobre cuál es la composición del grueso de la dieta que es desconocido. La tabla 4 muestra las especies de invertebrados encontradas en Punta Soldado y sus respectivas abundancias.

Tabla 4. Abundancia de macroinvertebrados en parcelas de 1m<sup>2</sup> en planos lodosos de Punta Soldado. Tomado de (Jimenez-Villa, 1995)

Familia/ especie	Abundancia	Clase	Num./ clase	
Amphionomidae	153	Polychaeta	174	
Poecilochetidae	7	Polychaeta		
Nereidae	14	Polychaeta		
Nemertea, verma sp1	23	Nemertea	30	
Nemertea,verma sp3	2	Nemertea		
Nemertea,vema sp2	5	Nemertea		
Alpheus masallanicus	4	Crustacea	32	
Alpheus sp	4	Crustacea		
Alpheus colombiensis	3	Crustacea		
Panopeus	3	Crustacea		
Pinnoteridae	2	Crustacea		
Clibanarius panamensis	1	Crustacea		
Alpheus ortmanii	1	Crustacea		
Speocarcinus ostrearicula	13	Crustacea		
Penaeus sp	1	Crustacea		
Natica sp	1	Gastropoda		2
Nassarius sp	1	Gastropoda		
Tagelus peruanus	19	Bivalvia	21	
Anadara similis	1	Bivalvia		
Bivalvia juvenil sp1	1	Bivalvia		
Gobionellus	5	Perciforme	5	

### Penetrabilidad del sustrato

*Calidris mauri* presenta distintas tácticas de forrajeo cuyo número varía según el investigador. No obstante, de acuerdo a las descripciones se distinguen principalmente: 1) Prueba (inmersión del pico en el fango), 2) Picoteo (recolección de organismos de la superficie) (Beltrán, 1986; Ruiz, 2004; Nebel y Thompson, 2005) y 3) Transporte por tensión superficial en las charca intermareales en los que aprovecha estructuras como la lengua y el pico tubular para la captura de biopelículas (Kuwaie *et al.*, 2008; Kuwaie *et al.*, 2010). En la bahía de Buenaventura estos cambios en los tipos de forrajeo están principalmente influenciados por los cambios drásticos de mareas (Beltrán, 1986). Las mareas también modifican la zonación vertical de las presas y las características del sustrato, haciéndolo menos penetrable cuando está expuesto (Sassa & Watabe, 2007 en Kuwaie *et al.*, 2010) y por ende más difícil para la táctica de Prueba.

### Densidad de presas

Como depredadores de epifauna e infauna *Calidris mauri* puede ajustar sus estrategias de forrajeo con el fin de optimizar la captura de presas y la

ganancia energética (Kuwaie *et al.*, 2010). Otro de los factores que modifica la relación presa-depredador en *Calidris* es la densidad de éstas.

Extrayendo de algunas investigaciones realizadas por (Wilson, 1990) y Morales (2001) puede decirse que *Calidris* escoge su sitios de forrajeo de acuerdo con una densidad umbral mínima de macroinvertebrados influida por los niveles de consolidación del sustrato. Aunque las investigaciones se realizaron sobre la especie *C. pusilla* dicho comportamiento puede hacerse extensivo a *C.mauri* dado que ambas comparten tácticas y estilos de forrajeo.

### **Temperatura del sustrato**

Los invertebrados responden a los cambios de temperatura de sustrato. Si la temperatura se eleva, la respuesta de los invertebrados es la de enterrarse en el sustrato. Es interesante considerar esto si se tiene en cuenta que para *Calidris mauri* el dimorfismo del pico podría estratificar la dieta. Las hembras de *C. mauri* tiene picos notablemente más largos que los machos, con hasta un 15% de este modo el comportamiento de forrajeo, provocando que en eventuales casos de aumentos de temperatura los machos se vean menos favorecidos que las hembras (Nebel y Thompson, 2005).

### **Zonas intermareales de alimentación**

Los invertebrados están distintamente ubicados de acuerdo con la zona intermareal (Cantera & Blanco, 2001). *Calidris mauri* no presenta diferencias significativas en su intensidad de forrajeo con respecto a las horas del día. Estas tendencias no estereotipadas concuerdan con los hábitos alimentarios generalistas de *C.mauri*. Durante la exposición de los bajos intermareales *C. mauri* mantiene un activo forrajeo permanente que sigue las mareas. Puede ocurrir entonces que *C.mauri* varíe la dominancia de las presas dentro de su dieta conforme cambia la marea (Beltrán, 1986).

## **6.4 Modelo conceptual**

Los sub modelos de las figura 10 a la figura 14 se desprenden del análisis de pertinencia de las variables que bajo influencia del cambio climático lograrían intervenir en los procesos de captura de energía que se realizó en el apartado *Red trófica de Calidris mauri en las costas del Pacífico colombiano*. El sub modelo A se construyó bajo el supuesto que la porosidad del sustrato modifica la oferta alimenticia mediante la capacidad de retención de agua y el estrés por desecación. El régimen de lluvias, precipitación en el modelo global, modifica la capacidad del sustrato para retener agua. De este modo, en los sustratos con porosidad mayor habrá menos capacidad de retención y consecuentemente, mayor estrés. Dicha desecación se vería agravada por los cambios de marea, sin embargo ésta se excluyó del modelo dado que los organismos que habitan estos hábitats están adaptados a los macro cambios de ésta y su inclusión en el modelo no sería significativa.

El sub modelo B enfatiza la influencia de la temperatura en dos variables que modulan la oferta alimenticia: La accesibilidad a las presas basados en el supuesto de que habrá menor densidad de presas en los estratos del fango asequibles a *Calidris* a medida que se aumente la temperatura del sustrato (Nebel y Thompson, 2005) además de una agudización en la mortalidad de los estadios juveniles (Gosellini y Quian, 1997; Moran, 1999), por lo tanto la densidad de presas será menor y disminuirá la oferta alimenticia.

El sub modelo C evalúa la variable precipitación bajo el supuesto que la mayor escorrentía a causa de un aumento en la precipitación provoca un aumento en la cantidad de sedimentos que llegan a los fondos blandos (Gaspari, *et al*, 2007). Por lo tanto hay un aumento en la cantidad de nutrientes que, a su vez favorece la diversidad de algunos organismos bentónicos (comedores de depósito) y desfavorece la de otros (Lucero, *et al*, 2008). De este modo en el modelo global la precipitación se conecta con la variedad en los tipos de presas.

El sub modelo D se basa en que *Calidris mauri* es omnívoro y puede alimentarse de los invertebrados más abundantes en el sitio de re-abastecimiento o volar a nuevos sitios de alimentación dentro del continente, además de alimentarse de *biofilm*, que puede constituir un porcentaje alto en la dieta ( Beltrán, 1986; Seaman, 2003; Kuwae, *et al*, 2008), por lo tanto, siempre hay presas disponibles para el consumo.

Finalmente el sub modelo E asume que la intervención antrópica y el nivel del mar alteran el espacio de forrajeo causando una disminución en este y haciendo que aumenten factores como la competencia. Como un elemento importante y que no se conecta de forma directa con variables climáticas se incluyó el dimorfismo sexual.

Figura 10. Sub-modelo A

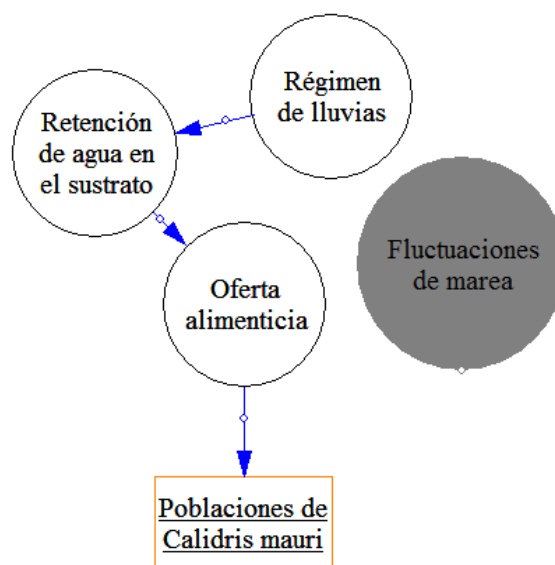




Figura 11. Sub-modelo B

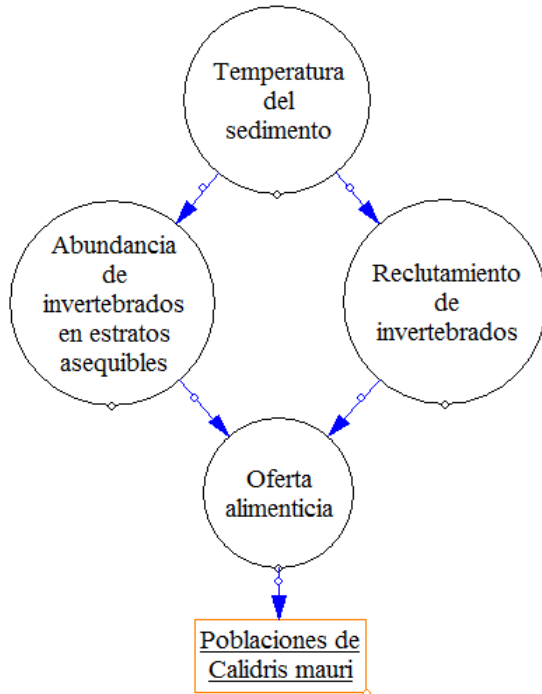


Figura 12. Sub-modelo C

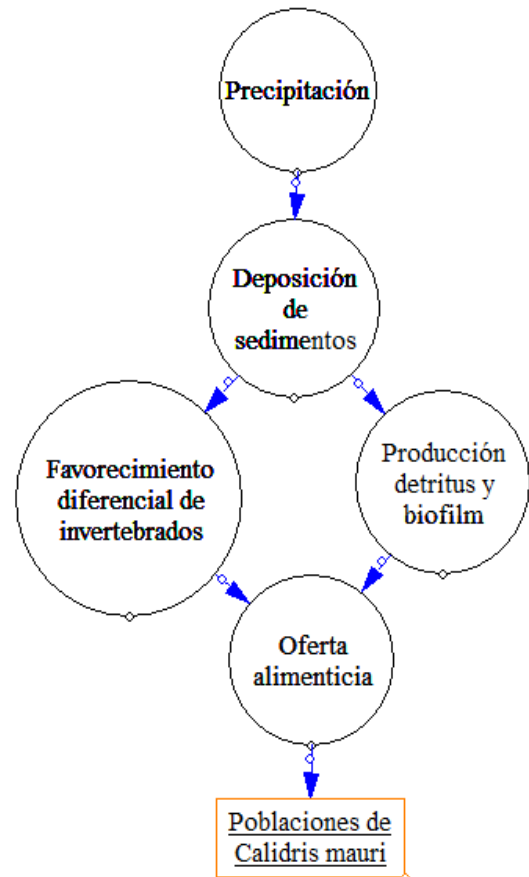


Figura 13. Sub-modelo D

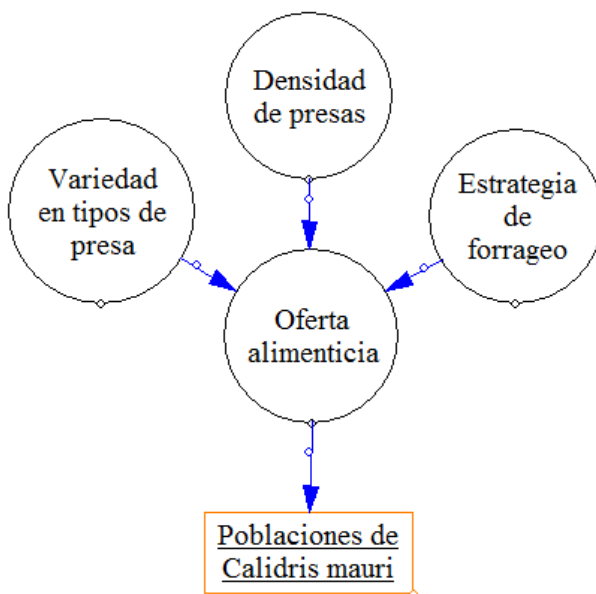
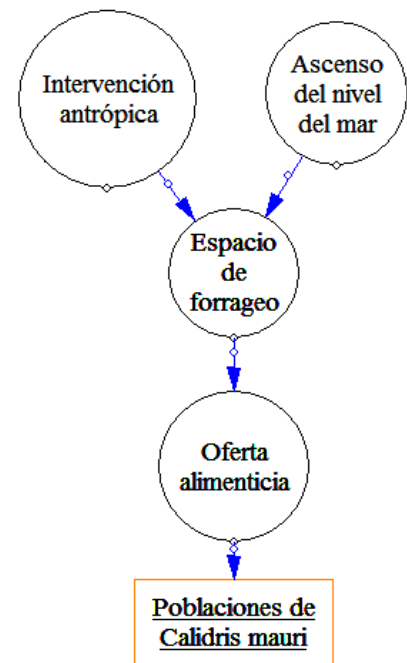


Figura 14. Sub-modelo E



Para un mejor entendimiento de los submodelos y las repercusiones en la red trófica, además del papel de la competencia como interacción importante, se presenta un esquema de red trófica en la figura 15. Organismos específicos de cada taxón en el Pacífico Colombiano ( Buenaventura) pueden ser encontrados en la tabla 4. Según este esquema trófico algunas de las presas de *Calidris mauri* también cumplen el papel de ser sus competidores directos, principalmente por el *biofilm* y el detritus, fuentes alimenticias que se verían favorecidas bajo incrementos de temperatura del sustrato y aumentos de la sedimentación. La afectación sobre los invertebrados compromete la gran mayoría de las interacciones de esta red trófica y lo hace en doble vía por que se afectan también los macroinvertebrados que se alimentan de organismos del mismo grupo.

La figura 16 muestra el modelo global, resultante de la integración de los submodelos. En el modelo global algunas de las variables han sido modificadas, producto de las propiedades que emergen cuando se juntan todas las variables y de las reconsideraciones a que esto obliga.

La variable Fluctuaciones de la Marea del sub-modelo A no se integra al modelo global dado que aunque es un factor preponderante en la modulación de la zonación de los invertebrados y en los niveles de estrés por desecación durante el día y la noche, este proceso ha tenido durante largo tiempo y se asume que los organismos que habitan estos ecosistemas han desarrollado adaptaciones y, por tanto, sus efectos son neutros para los fines del presente modelo.

La variable Densidad de Presas del submodelo D no se incluye en el modelo global ya que el factor que realmente impacta la red trófica es la accesibilidad a las presas que tenga *Calidris*. Podría ocurrir que siendo mucha la densidad de invertebrados existan en estratos donde no puedan ser depredadas por las aves.

Figura 15. Esquema de red trófica para *C. mauri* en el pacífico Colombiano

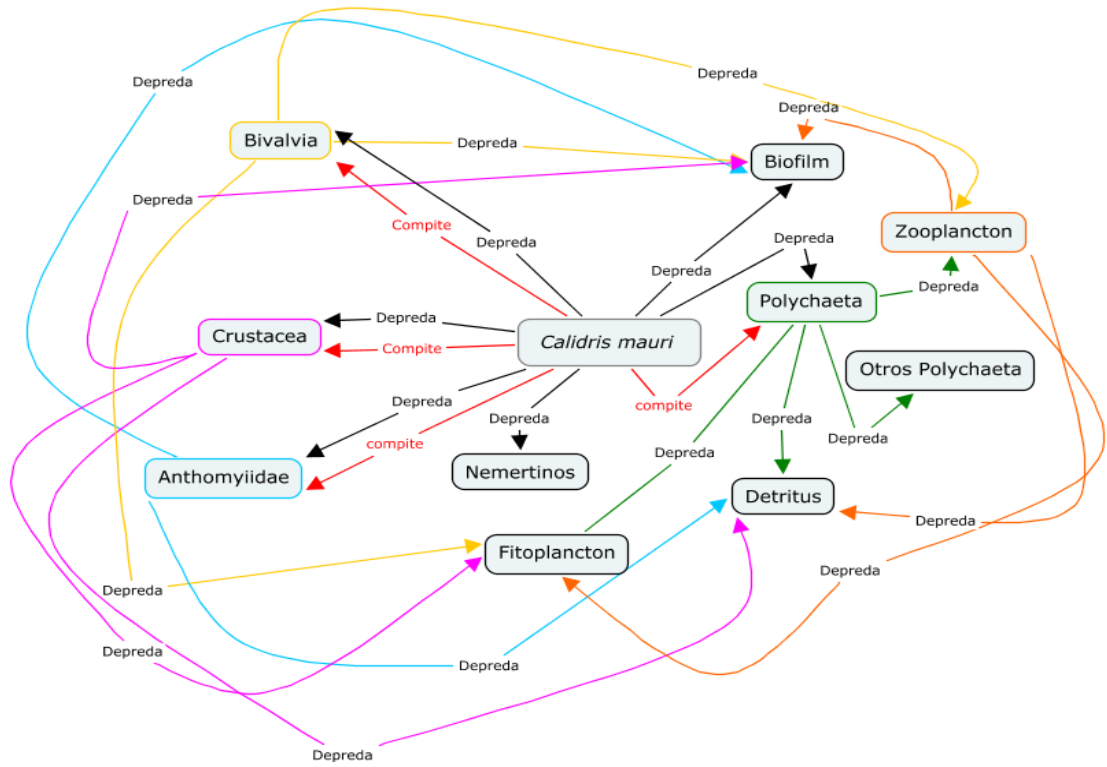
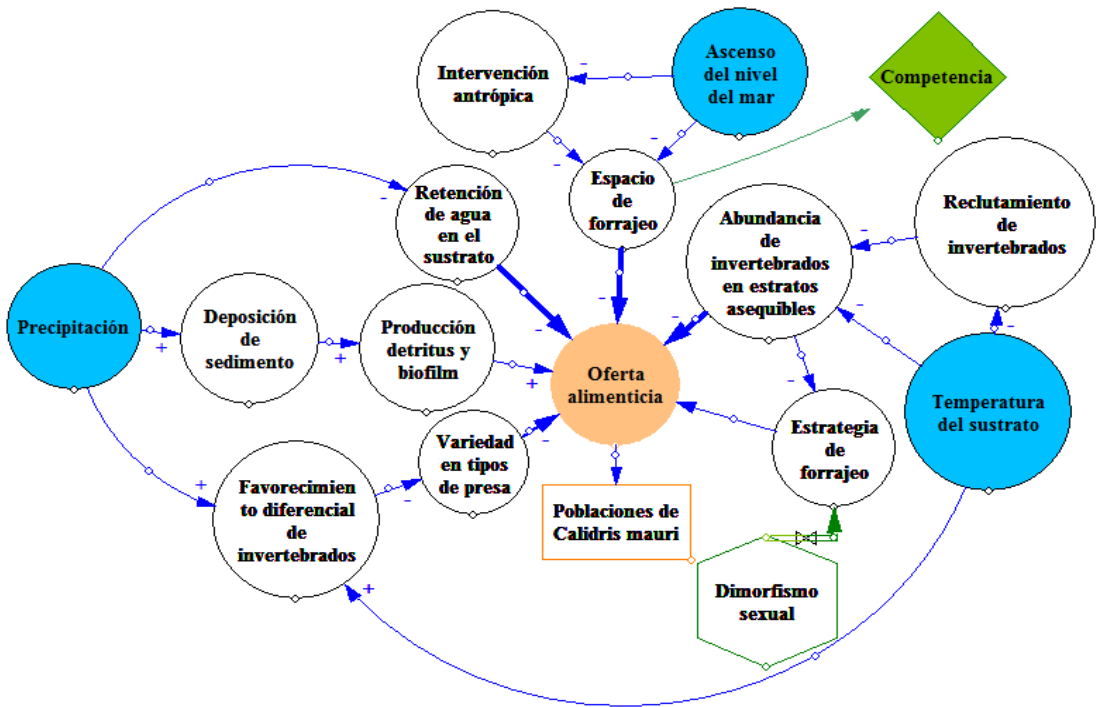


Figura 16. Modelo integrativo para las vías de modulación que las variables de cambio climático ejercen sobre la red trófica de *C. mauri*.



## 7. DISCUSIÓN

### Escenario 2011-2040

Este escenario asume las condiciones de cambio en precipitación, aumento medio de temperatura y aumento del nivel de mar que se muestra en la tabla 2. La hipótesis central del modelo es que la afectación que el cambio climático puede efectuar sobre las poblaciones de *Calidris* será primordialmente, a través de la modulación de la oferta alimenticia y por tal motivo el control es el bottom up

Una primera variable que posiblemente afecta de forma diferencial la disponibilidad y la posibilidad de captura de invertebrados bajo escenarios de aumentos de temperatura es la morfología del pico según el sexo. Nebel *et al.* (2005), midió el cambio de temperatura del sustrato a 0, 10 y 30 mm de profundidad en Costa del Este, Panamá. Sus datos muestran que la diferencia de temperatura entre los 10 mm y los 30 mm es de 1,3°C, un valor muy cercano al aumento de temperatura que se prevé ocurrirá en este periodo, evidenciando que cambios de hasta unos pocos grados pueden provocar una respuesta termo-evasiva en los invertebrados del pacífico. Estas respuesta también puede ser producto de una disminución en la concentración de oxígeno, que será menor en las partes más calientes en una franja estrecha de aproximadamente 10 cm (Lucero, *et al.*, 2008).

No obstante las temperaturas registradas para la superficie del sustrato (nivel 0 mm) en el estudio de Nebel *et al.* (2005) son hasta 3°C superiores a las tomadas como valor de referencia para este periodo (ver tabla 2). Bajo el supuesto que existen diferencias en los márgenes de tolerancia en los invertebrados, asociadas a las adaptaciones del grupo a su entorno particular, es posible que algunos de los invertebrados del Pacífico colombiano cambien de estrato en el lodo, enterrándose, con el fin de evitar la desecación. Ya que el descenso de la temperatura en el lodo no decrece de forma proporcional los invertebrados no requerirían enterrarse en más de 10 mm, lo que aún los mantiene en el rango de captura de *C. mauri*, al menos para los bentos que se mantiene en el primer centímetro de lodo.

El fenómeno de la desecación en los invertebrados se encuentra relacionado con el tipo de partículas del sustrato que habitan. En las playas arenosas el cambio de temperatura con la profundidad se esperaría fuera más gradual, ya que la mayor porosidad del terreno permitiría una mayor aireación, así como también unos milímetros más de penetración para los rayos infrarrojos, calentando más a poca profundidad con respecto al plano lodoso y haciendo que los bentos que lo habitan tengan que enterrarse en mayor medida para evitar la desecación. Si aumenta la temperatura también lo hará la desecación y serán dos los factores, ya que la temperatura *per se* es una situación de estrés con efectos directos sobre el metabolismo, y laterales a través de la pérdida de agua.

Se esperaría entonces que en el efecto de la desecación diezme la cantidad de bentos en estratos asequibles de forma más intensa en las playas arenosas que en los planos lodosos. Para este primer lapso de tiempo es posible que no ocurran desplazamientos notables de las aves entre un tipo de sustrato y otro, pero si tenemos en cuenta que según Wilson (1990) los *Calidris* tienden a forrajear en sitios con umbrales de abundancias mínimas de invertebrados, en el futuro estos desplazamientos sí podrían ser notorios haciéndose mas raros los playeros en las plalyas arenosas.

Otro impedimento que pueden encontrar las aves a medida que se seca el sustrato es la pérdida de penetrabilidad. Con presas a una mayor profundidad y un sustrato más renuente a la búsqueda por prueba las posibilidades se reducen aún más. Este efecto fue documentado para *C. alpina*, un ave de mayor tamaño. Es probable que para aves más pequeñas, como *C. mauri* y algunas otras del género también se cumpla (Kuwae, et al, 2010).

Para una hembra adulta de *C. mauri*, la longitud del pico puede tener valores medios entre 25,95 mm y 27,55 mm, mientras que los machos tienen picos hasta 15% más cortos, entre 22,5 mm y 22,7 mm (Guglielmo & Williams, 2003). De esta manera, es plausible colegir que los machos podrían verse mayormente desfavorecidos en los intentos de caza. Así pues, probar sería un método que aumentaría la probabilidad de éxito en la captura, pero sería, por sí mismo, menos eficiente energéticamente. Cabe mencionar que para los *Calidris* es una ventaja que su historia natural les permita intercambiar entre modos de forrajeo porque les permite acceder a nichos distintos en más de un tipo de sustrato haciendo que el impacto que podría sufrir la macrofauna bentónica no los desbalancee de forma contundente.

Si bien es posible la captura de presas, para las aves será necesario hacer un ajuste en la frecuencia del método de forrajeo, pasando de la ocasional picada (caza en superficie) a la probada o inmersión de  $\frac{3}{4}$  partes del pico en el sustrato. Una mayor proporción de tiempo empleando la probada significa un gasto energético que, aunado a la probabilidad disminuida de caza y a una eventual reducción en la diversidad de presas podría incidir negativamente en la acumulación de reservas para continuar la ruta migratoria, hacia el sur o completarla de vuelta al norte, en cuyo caso las consecuencias se verían reflejadas en la puesta y el cuidado de los críos, ya que al llegar a las zonas de reproducción no se ha dado lugar a la producción de recursos alimenticios (Meltofte, et al., 2009).

A parte de los poliquetos otro grupo muy abundante en la Costa pacífica son los crustáceos. Según Lagerspetz y Vainio (2006) estos animales pueden percibir las diferencias en temperatura y su respuesta a ella depende de la intensidad del estímulo, más que de la presencia o ausencia del mismo. Este mismo estudio documentó que estas tolerancias pueden ser de unos pocos grados Celsius (1°C-3°C) o tener rangos amplios (10°C-29°C). Los rangos de tolerancia dependen de la historia natural de cada especie y de las diferencias adaptativas de cada individuo. En este caso, las temperaturas que se alcanzan para las épocas de migración hacia el sur de *Calidris* serían similares a las

temperaturas máximas de algunos meses, llegando a ser del orden de los 28°C.

Estas son fluctuaciones ambientales para las que se han generado adaptaciones fisiológicas y en primera instancia para un aumento de 1,4°C no debería afectar drásticamente las poblaciones de crustáceos, solo proporcionar en enterramiento de aquellos menos tolerantes. Ya que los cambios de temperatura ocurrirán de forma gradual podría esperarse una respuesta de aclimatación inicial, lo que significa que no habrá cambios sustanciales en el *pool* de crustáceos disponibles. En la tabla 4 se listan los grupos de invertebrados bentónicos, donde los crustáceos cuentan con una representación preponderante, mostrando que estos pueden ser una parte significativa de la dieta con poca afectación, hecho que beneficia a los *Calidris*.

En Colombia no se ha documentado suficientemente el consumo de *biofilm* de forma no accidental para *C. mauri*. Sin embargo, existe literatura que reporta que los microfitobentos podrían estar supliendo entre un 32% a un 68% del requerimiento energético diario (Kuwa, *et al*, 2008), lo que lo convierte en una opción para los playeros si se tiene en cuenta que aumentos de temperatura y cantidad de nutrientes, consecuencia de mayores escorrentías, favorecen la proliferación de dichos microorganismos.

Se esperaría que los efectos de la temperatura en el periodo de tiempo 2011-2040 sea principalmente un *trade-off* o compensación entre el costo energético de los modos de forrajeo con la máxima ganancia energética que soporte comportamientos tan exigentes como las migraciones hemisféricas y la *reducción leve* de oportunidades de captura y variedad dietaria.

Los aumentos en los regímenes de lluvias modifican el drenaje, saturando el suelo y presionando mecánicamente para que éste se lave. En suelos con mayores espacios entre partículas hay mayor aireación y el drenaje de agua ocurre en mayor proporción (Burt, 2004). Esta es otra razón para que los organismos de la playa arenosa tengan mayores riesgos de reducir su número y ocurra un eventual desplazamiento de las aves a los planos lodosos.

Asociado al aumento de la precipitación y del aumento en eventos extremos de lluvia (aguaceros) se encuentra un aumento de la sedimentación; así pues la mayor escorrentía a causa de un alza en la precipitación provoca un aumento en la cantidad de sedimentos que llegan a los fondos blandos, que se agudizaría en el caso de los aguaceros (Gaspari, *et al.*, 2007), hecho que podría modificar la estructura de la comunidad bentónica mediante el cambio en el balance de materia orgánica, favoreciendo los organismos comedores de depósito por encima de otros grupos (Lucero, *et al.*, 2008).

Uno de los organismos que se podría esperar aumente su abundancia son los poliquetos. Es posible que pasen a formar un papel más importante a nivel energético en la dieta. Si para la primera mitad de siglo la temperatura se eleva 1,4 °C y la precipitación tienden a mantenerse constante con algunas variaciones en el intervalo de -10% a 10% la proporción en la que aumentará la

sedimentación no será de altísimo impacto, así que se esperaría que la oferta dietaria se mantenga aun variada y con ella la gama de aportes energéticos diferenciales que hace cada taxón.

Los fuertes cambios mareales en el Pacífico hacen que sea un ecosistema en el que los organismos se han adaptado para tolerar los cambios bruscos de salinidad, pH, disponibilidad de oxígeno y tolerar ciertos niveles de desecación en bajamar. Estas adaptaciones hacen que para un aumento inicial de 0,30 m no existan efectos negativos sustanciales en los organismos que las habitan, pero debe tenerse en cuenta que estos contribuye a las modificaciones *progresivas* en la morfología de la playa y en su intrusión en tierra. Debe tenerse en cuenta que para definir el retroceso de la línea de costa no se están teniendo en cuenta otros factores determinantes como la velocidad del viento, la alta actividad tectónica y el oleaje, así como las hora/luna entre otros (MARN, 2009)

Las condiciones actuales de litoral presentan una tendencia hacia la erosión de las geoformas existentes (IDEAM, 2010). Los ascensos en el nivel del mar modificarán el transporte de sedimentos tierra adentro, posiblemente permitiendo que ocurra una expansión de la playa y esto significa, de forma teórica, una expansión en el hábitat de forrajeo. No obstante otra fuerza modeladora importante del paisaje costero es la ocupación por parte del hombre. La ocupación humana reduce el espacio de forrajeo porque con los humanos viene especies invasoras que desplazan a las aves.

Es posible que en las zonas de menor profundidad y en playas disipativas los movimientos de material hacia el continente sean mayores. Empero, esto no es garantía de una mayor disponibilidad alimenticia, ya que las proyecciones de ocupación humana del territorio, actualmente mayores para la Costa Atlántica, predicen aumentos que desfavorecen la ocupación por parte de las *Calidris* en el Pacífico (IDEAM, 2010). Se esperaría que el aumento del nivel del mar tenga un efecto neto negativo en las playas arenosas ya que a nivel comportamental las aves posiblemente, evitaban acercarse en demasía a los asentamientos, buscando evitar la depredación. En los planos lodosos la acumulación de sedimentos sí podría ser un factor de expansión del espacio de forrajeo y contribuir positivamente a la captación de alimento mediante un aumento en la oferta.

La mesurada disminución en la disponibilidad de presas y su consecuente baja en el éxito de captura de macroinvertebrados puede aún no constituir una amenaza para el re-abastecimiento energético de los playeros en las condiciones que plantea el escenario 2011-2040. Los aumentos de temperatura y la precipitación en niveles similares para éste primer escenario podrían llevar a un aumento en la producción de *biofilm* que, con cambios en los modos de forrajeo pueden contribuir a la captación de energía (Kuwae, *et al.*, 2008) (Moldoveanu, 2012).

## Escenario 2070-2100

En este escenario la seguridad alimenticia de *Calidris* podría verse comprometida en mayor proporción con respecto al escenario anterior.

Si los aumentos de temperatura superan los 3°C cabría esperar, para las playas arenosas, que los macroinvertebrados más susceptibles a la desecación y a los cambios de temperatura corporal que fluctuarían con el ambiente mueran o se entierren. Esto reduce la gama de presas y la consecuente diversidad de aportes energéticos en una forma más drástica con relación al escenario anterior. Si se considera la premisa del escenario 2011-2040 en el que en 20 mm de fango ocurre un cambio de 1,3°C, para aumentos mayores se esperaría que tales invertebrados estén, en principio, fuera del alcance de caza de *C. mauri*. Si bien es cierto que la cadena trófica de *Calidris* goza de gran plasticidad, también lo es que los macroinvertebrados forman parte importante de su dieta en el Pacífico colombiano.

Otra parte importante son las larvas de algunos dípteros. Estudios llevados a cabo en Buenaventura muestran que las larvas de Anthomyiidae componen cerca del 32% de la dieta (Beltrán, 1986). Si el sustrato se encuentra más caliente se podría esperar que las larvas de dípteros no se encuentren viables o ni siquiera se depositen los huevos debido a que la reducción en la humedad las matará (MacRae & Armstrong, 2000). Cabe pensar que su generosa representación en la dieta obedece a un buen aporte nutricional que, de verse disminuido, podría diezmar las reservas. Si bien consumirán otras presas, tal vez estas sean de una calidad menor y le sería necesario forrajear en mayor medida en un contexto en el que el alimento escasea.

Nuevamente ocurrirá enterramiento de los bentos. Pero, aunque busquen enterrarse para protegerse de la desecación no podrán hacerlo infinitamente. A medida que se gana profundidad la oferta alimenticia de detritus y microorganismos decrece. En suelos con porosidad mayor los nutrientes pueden llegar más fácilmente a capas inferiores para sustentar la permanencia de los invertebrados allí en los lapsos de tiempo más calurosos. Esto ocurriría en las playas arenosas, porque, como ya se mencionó, en los planos lodosos la parte superficial se calienta, pero en unos centímetros la temperatura es óptima.

Al igual que en el escenario 2011-2040 la probada será la técnica de forrajeo mayormente empleada. No obstante el gasto energético es mayor, con el agravante de un posible aumento en la tasa metabólica del ave que *per se* tiene un metabolismo rápido. Si tenemos en cuenta que *Calidris* generalmente hace pequeñas migraciones entre sitios de alimentación, que su metabolismo va más rápido y que debe hacer una mayor inversión con una técnica de forrajeo más costosa vemos que estas pequeñas restas conseguirían afectar las reservas energéticas que usualmente acumularían en su tránsito por el Pacífico, en este contexto, de una forma considerable.



Se estima que para este periodo el aumento de las lluvias será entre un 10% a un 30% en los departamentos de Chocó y un punto muy localizado en límites de Valle y Cauca. Zonas importantes para el re-abastecimiento de las aves playeras como el PNN Sanquianga en Nariño y las bahías de Buenaventura y Málaga tendrán aumentos menores de precipitación que, en comparación con el modelo 2011-2040 no son significativos, además del hecho que las lluvias ocurrirían principalmente en zonas planas y no en las cabeceras de los ríos. Por lo tanto, no se consideran aumentos en la descarga de sedimentos distintas a las del modelo anterior y un alza en la producción de *biofilm* se deberá a los aumentos de temperatura. El *biofilm* seguirá siendo una opción alimenticia a explorar.

Un efecto importante que el cambio climático puede conllevar conjuntamente con la pérdida de biomasa de macroinvertebrados asequible a *Calidris* es la rotura en la sincronía que según reporta Jimenez-Villa (1995) existe entre los picos de abundancia de los invertebrados y el arribo de *Calidris*. Algunos autores citados en el Plan de Manejo de Aves Playeras para Colombia sostiene que es posible el re-ajuste de la fenología de las aves y que tal ajuste les permitiría un nivel importante de resiliencia a la hora de enfrentar la arremetida del cambio climático global. No se puede asegurar que las variaciones entre aves y presas ocurran al mismo ritmo.

En términos poblacionales y teniendo en cuenta que para Colombia 8 de las 11 especies en el país son consideradas de preocupación por los ítems *Distribución no reproductiva*, *Amenaza en temporada no reproductiva* y *Tendencia poblacional* el modelo permitiría interpretar que para el lapso 2070-2100 la tendencia de decrecimiento se agudiza.

Si se tiene en cuenta que la mayoría de playeros que arriban al Pacífico son hembras y que los juveniles permanecen el primer año completo en las zonas de invernada (Ruiz-Guerra, 2004) tenemos una amenaza seria a la población a nivel global por que las hembras son el potencial reproductivo de la siguiente generación y los machos jóvenes deben tener buenas reservas energéticas para compartir el cuidado de las crías en épocas reproductivas. La variable, *Proporción de hembras*, aunque no constituye una parte estricta de la ecología de las redes tróficas y por eso no se incluye en el modelo si es un elemento mediante el cual la afectación de variables afectadas por cambio climático tiene alcances transgeneracionales difíciles de atisbar.

### **Escenarios A2 y el futuro de las aves *Calidris***

Bajo los escenarios pesimistas como el A2 se estima que la población mundial aumentará desaceleradamente y de forma continua hasta finales de siglo.

Es posible que para los países en vías de desarrollo la ocupación de los espacios costeros que sean aprovechables aumente considerablemente y con ella la presión antropógena sobre el ecosistema y el espacio de forrajeo de *Calidris*. Los países en vías de desarrollo son los que hacen el principal aporte en número al aumento de la población mundial (PRF, 2013) además de

presentar condiciones de pobreza, desigualdad, bajo desarrollo tecnológico e industrial y es en ellos donde el futuro de estas aves puede ser menos prometedor, aun con la resiliencia que las caracteriza. En este posible futuro la afectación que las variables de cambio climático ejerzan en las aves van a tener repercusiones mucho más fuertes a causa de una carencia en la cohesión y acción mundial para propender por el desarrollo de más políticas hemisféricas que aseguren la protección de las aves a su paso por los distintos sitios. Si gran parte de la población mundial es en conjunto aun pobre, los niveles de ocupación de las “tierras de nadie” de las costas podría ser masiva, así como la explotación descontrolada de los recursos litorales. No existirá una cultura de la conservación porque es muy difícil conservar cuando se tiene hambre.

Si el cambio tecnológico y por tanto la búsqueda de energías alternativas y de estrategias de mitigación son fragmentadas lograrían aumentar los niveles de GEI y con ellos las temperaturas, refozando el ciclo de acción y la intensidad de la presión de las variables climáticas sobre *Calidris*. En este contexto de poca interacción cultural, social y económica van a jugar un rol preponderante los esfuerzos que cada región o país que hacen parte de la Ruta Migratoria del Pacífico desarrolle, conllevando a mejores esfuerzos en la mitigación de los impactos.

Aunque parece cierto que si las brechas de la desigualdad son todavía amplias no habrán recursos invertidos en educación medio ambiental, ni estudios suficientemente financiados que permitan complementar la información existente sobre las poblaciones de aves y su *status*, es posible pensar que aunque la versatilidad alimenticia de *Calidris* le permita márgenes de resiliencia, en escenarios pesimistas como este deberíamos esperar que las poblaciones se adapten y se muevan a otros puntos de equilibrio o que su tendencia al decrecimiento continúe vertiginosa.

### **Limitaciones del modelo**

- La formulación y el análisis incorporó gran cantidad de información de otras latitudes, lo que puede restarle ajuste local al modelo.
- Dentro de los valores de referencia para la interpretación de los escenarios se encontraron las siguientes particularidades:
- La mortalidad de los invertebrados se encuentra fuertemente modificada a nivel espacial y temporal. Los apuntes en este tópico no fueron realizados para el Pacífico Colombiano.
- El modelo ignora los cambios de temperatura que ocurren a un nivel más fino de detalle como consecuencia del cambio de marea cada 6 horas. Los cambios en la temperatura del agua también son obviados.
- Para generar un modelo fehaciente de la red trófica de las aves *Calidris* es necesaria información detallada y local de aspectos como: una descripción completa de sus presas y de los contenidos estomacales, la magnitud o la interacción cuantificable de la afección sobre sus presas

de factores abiótico como la salinidad, cambios en las condiciones del sustrato como la temperatura, la granulación, los cambios en la sedimentación y el forrajeo nocturno.

- Uno de los picos de abundancia de *Caldris* ocurre en los meses de Marzo a Mayo, durante la migración de primavera. Hay estudios que reportan la presencia de juveniles 365 días/año, es decir, no migran de regreso a las zonas de reproducción. Al parecer usan las zonas de parada intermedia para permanecer. Este aspecto falta ser ahondado y descrito con mayor precisión y para años recientes.

## 8. CONCLUSIONES

Las aves del genero *Calidris* tiene una historia natural que les otorga niveles de resiliencia importantes frente al cambio climático. *Calidris mauri* sufriría afectación real hacia el final del siglo. No obstante la afectación es un proceso gradual al que no podemos dar respuestas definitivas de reacción.

Aunque actualmente se encuentren en la categoría de preocupación menor a nivel mundial, la UICN declara que una reducción en la cantidad de Km<sup>2</sup> habitados por las aves pueden moverlas, hacia categorías de amenaza y eso es lo que posiblemente ocurra con el cambio climático global en las costas de Pacífico.

El futuro de los *Calidris* parece ser energéticamente más demandante y la variable que más acentúa esta demanda es la temperatura. Posiblemente las hembras de *C. mauri* tengan ventajas sobre los machos a la hora de capturar presas enterradas a mayor profundidad. Sin embargo, si las condiciones en el Pacífico recrudescen como se plantea aquí las hembras sufrirán reveses.

El litoral pacífico es un sitio de reabastecimiento importante para las aves ya que pueden soportar el forrajeo de grandes bandadas sin sufrir agotamiento del recursos. Es plausible pensar que la afectación que por cambio climático se lleve en el pacífico de Colombia podría ser menos severa ya que la normal disponibilidad de alimento es alta.

Debido a la poca información local y al nivel de fragmentación de la misma no se puede conocer cuál es la magnitud (fuerza) de la interacción trófica; es decir, no se puede conocer cuál es el grado de dependencia de *Calidris* con respecto a cada una de sus potenciales presas a nivel local.

## 9. RECOMENDACIONES

Sería preciso conocer qué está ocurriendo en las poblaciones de invertebrados justo ahora, cuando las consecuencias del cambio climático como los aumentos de temperatura, las alzas en las concentraciones de GEI, la acidificación de los océanos y el derretimiento de las capas de permafrost empiezan a sentirse. Este sería un momento crucial para establecer posibles comparaciones a futuro y aportar a la consolidación de información que hacia el final del siglo pueda ser cotejada. También se hace preciso reforzar la línea investigativa en ecología, etología e historia natural para los *Calidris*

La obra de mitigación y preparación, así como las evaluaciones de vulnerabilidad de las costas colombianas al cambio climático debe ser una constante a lo largo del siglo. La aplicación de la modelación y la estructuración de modelos completos que permitan obtener cifras es un ejercicio que debe impulsarse cada vez con mayor fuerza en los entes académicos que puedan servir de base a los tomadores de decisiones con respecto a las políticas a seguir.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

- Andramunio-Acero, C., & Caraballo, P. (2012). Análisis de las relaciones tróficas en un lago de inundación de la Amazonia colombiana. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 4(1), 102-120.
- Angelinni, R., & Agostinho, A. (2005). Food web model of the Upper Paraná river floodplain: Description and aggregation effects. *Ecological Modelling*, 181, 109-121.
- Baker, J., Gonzáles, P., Piersma, T., Niles, L., Serrano do Nascimento, I., Atkinson, P., et al. (2003). Rapid population declines in the red knots: Fitness consequence of refuelling rates and late arrival in the Delaware Bay. *Proceedings of the Royal Society*, 271, 875-882.
- Bart, J., Brown, S., Harrington, B., & Morrison, R. (2007). Survey trends of North American shorebirds: population declines or shifting distributions? *Journal of Avian Biology*, 38, 73-82.
- Batista-Morales, A.M., Merchán-Cepeda., Díaz-Sánchez, C.M., Gómez- López, D.I., Arteaga-Sogamoso., Montoya-Cadavid, E., (...) y Flórez, P (2012). Estado del conocimiento y vacíos de información. In INVEMAR, Informe del estado de los ecosistemas marinos y costeros en Colombia (pp. 159-181). Santa Marta: INVEMAR.
- Bedoya, M., Benavides, H.O., Cabrera, M., Cariillo, H., Contreras, C., Cuervo, P., (...) y Tobón, E,A (2010). Segunda Comunicación Nacional ante la Convencion Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. In IDEAM (Ed.). Santafé de Bogotá.
- Beltrán, J. (1986). Ecología alimentaria de las aves playeras (scolopacidae-charadriidae) en la Bahía de Buenaventura. Santiago de Cali: Departamento de Biología-Universidad del Valle.
- Birdlife International. (2013). Recuperado el 25 de Mayo de 2013, de UICN redlist for birds: <http://www.birdlife.org>
- Botkin, D.B., Saxe, H., Araújo, M.B., Bett, S.R., Bradshaw, R.H.W., Cedhagen, (...) y Stockwell, D.R.B. (2007). Forecasting the effects of global warming on biodiversity. *BioScience*, 57(2), 227-236.
- Bretagnolle, V., & Gillis, H. (2011). Predator-prey interaction and Climate Change. In A. MØller, W. Fiedler, & P. Berthold, *Effects of Climate Change on Birds* (pp. 227-238). Nueva York: Oxford University Press.

- Bueno, R., Herzfeld, C., & Ackerman, F. (2008). El Caribe y el Cambio Climático: los costos de la inacción. Massachusetts: US Center. Global Development and Environment Institute. Tufts University, 2-6.
- Burt, R. (2004). Soil Survey Laboratory Methods Manual-Soil Survey Investigations Report No. 42. United States Department of Agriculture.
- Butler, R., Davidson, N., & Guy Morrison R, I. (2001). Global-scale shorebird distribution in relation to productivity of near-shore ocean waters. *Waterbirds: The International Journal of Waterbird Biology*, 24(2), 224-232.
- Butler, R., Ydenberg, R., Donaldson, G., & Brown, S. (2004). Hypotheses to explain census declines in North American shorebirds. Report 1. Retrieved Febrero 11, 2013, from Shorebird Research Group of the Americas : <http://www.shorebirdresearch.org/workinggroups.htm>
- Cabrera, E. M. (1998). Aspectos de la invernada del playerito occidental (*Calidris Mauri*) en la Bahía de Buenaventura-Pacífico colombiano. Santiago de Cali: Departamento de Biología-Universidad del Valle.
- Canevari, P., Castro, M., Sallaberry, M., & Naranjo, L. (2001). Guía de los Chorlos y Playeros de la Región Neotropical. Santiago de Cali: Asociación Calidris. 53-70
- Cantera, J., & Blanco, J. (2001). The estuary ecosystems of Buenaventura Bay, Colombia. (U. Seeliger, & B. Kjerfve, Eds.) *Ecological Studies*, 144, 265-280.
- Cardona, A. (2009). Mapeo institucional. Actores relacionados con el abordaje del Cambio Climático en Colombia. Santafé de Bogotá: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.
- Cifuentes-Sarmiento, Y., & Ruíz-Guerra, G. (2009). Planes de acción para nuevas especies de aves acuáticas (marinas y playeras) de las costas colombianas. (Y. Cifuentes-Sarmiento, & G. Ruíz-Guerra, Eds.) Santiago de Cali: Asociación Calidris. 1-5.
- Colwell, M. (2010). *Shorebirds ecology: conservation and management*. Londres: University of California Press. 1-10
- Crick, H. (2004). The impact of Climate Change on birds. *Ibis*, 146, 48-56.
- Dale, V.H., Joyce, L.A., McNulty, S., Neilson, R.P., Ayres, M.P., Flannigan, M.D., y Wotton, B, M. (2001). Climate Change and forest disturbances. *Bioscience*, 51(9), 723-734.
- Dekinga, A., & Piersma, T. (1993). Reconstructing diet composition on the basis of faeces in a mollusc-eating wader, red knot *Calidris canutus*. *Bird Study*, 144-156.

- DSEWPaC. (2013). Department of Sustainability, Environment, Water, Population and Communities. Retrieved Mayo 19, 2013, from Species Profile and Threats Database: <http://www.environment.gov.au/sprat>.
- EAAFP Secretariat. (s.f.). [www.wetlands.org](http://www.wetlands.org). Recuperado el 13 de Marzo de 2013, de [www.wetlands.org](http://www.wetlands.org):  
<http://www.wetlands.org/DesktopModules/QuickImageRepository/image.ashx?forceDownload=0&fileId=5715>
- Elnor, R., Beninger, P., Jackson, D., & Potter, T. (2005). Evidence of a new feeding mode in western sandpiper (*Calidris mauri*) and dunlin (*Calidris alpina*) based on bill and tongue morphology and ultrastructure. *Marine Biology*, 1223-1234.
- Ericson, P., Envall, I., Irestedt, M., & Norman, J. (2003). Inter-familial relationships of the shorebirds (Aves:Charadriiformes) based on nuclear DNA sequence data. *BMC Evolutionary Biology*, 1-14.
- Fain, M., & Houde, P. (2007). Multilocus perspectives on the monophyly and phylogeny of the order Charadriiformes (Aves). *BMC Evolutionary Biology*, 7(35).
- Fauchald, P., Skov, H., Skern-Mauritzen, M., Jhons, D., & Tveera, T. (2011). Wasp-Waist Interactions in the North Sea Ecosystem. *PLoS ONE*, 6(7). 1-10
- Fernández, G., & Lank, D. (2008). Foraging behaviour of non-breeding western sandpiper *Calidris mauri* as a function of sex, habitat and flocking. *Ibis*, 518-526.
- Franke, R. (1986). Distribución cronológica y uso habitacional de los chorlos (aves scolopacidae y charadriidea) en la Bahía de Buenaventura. Santiago de Cali: Departamento de Biología-Universidad del Valle.
- Frederiksen, M., Edwards, M., Richardson, A., Halliday, N., & Wanless, S. (2006). From plankton to top predators: bottom-up control of a marine food web across four trophic levels. *Journal of Animal Ecology*, 1259-1268.
- Gaspari, F., Senisterra, G., & Marlats, R. (2007). Relación precipitación-escorrentía y número de curva bajo diferentes condiciones de uso del suelo. Cuenca modal del sistema serrano de La Ventana, Argentina. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales-Universidad Nacional de la Plata*, 21-28.
- Gosellini, L., & Quian, P. (1997). Juvenile mortality in benthic marine invertebrates. *Marine Ecology Progress Series*, 146, 265-282.
- Guglielmo, C., & Williams, T. (2003). Phenotypic flexibility of body composition in relation to migratory state, age and sex in the western sandpiper (*Calidris mauri*). *Physiological and Biochemical Zoology*, 84-98.
- Harley, C., Hughes, A., Hultgren, K., Miner, B., Sorte, C., Thornber, C., et al. (2006). The impacts of climate change in coastal marine systems. *Ecology letters*, 228-241.



- Hernandez, M. d., D'Amico, V., & Bala, L. (2004). Presas consumidas por el playero rojizo (*Calidris canutus*) en Bahía San Julián, Santa Cruz, Argentina. *Hornero*, 7-11.
- Hicklin, P., & Smith, P. (1979). Relationship between prey abundance and foraging site selection by semipalmated sandpipers on Bay of Fundy. *Proceedings of the Nova Scotia Institute of science*, 483-488.
- Hitchcock, C., & Gatto-Trevor, C. (1997). Diagnosing a shorebird local population decline with a stage-structure population mode. *Ecology*, 522-534.
- Hui, D. (2012). Nature Education Knowledge. Retrieved Marzo 23, 2013, from <http://www.nature.com/scitable/knowledge/library/food-web-concept-and-applications-84077181>
- IDEAM. (2010). Los litorales. En Instituto de Meteorología e Hidrología, *Sistemas Morfogénicos del Territorio Colombiano*. Santafé de Bogotá: Comité de Comunicaciones y Publicaciones del IDEAM. pp. 139-162.
- IDEAM. (2013). Impactos del cambio climático a nivel nacional. Recuperado el 1 de Abril de 2013, de <http://www.cambioclimatico.gov.co/jsp/1329>
- IPCC. (2000). Informe especial del Grupo de trabajo III del IPCC-Resumen para responsables de políticas: Escenarios de Emisiones. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático.
- IPCC. (2007). Cambio Climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático. Ginebra: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático.
- IUCN. (2012). IUCN Red List of Threatened Species. Recuperado el 10 de Abril de 2013, de <http://www.iucnredlist.org/search>
- Jimenez-Villa, D. (1995). Estudio de las variaciones de la macrofauna bentónica de playas lodosas por efecto de la depredación por chorlos en la Bahía de Buenaventura. Santiago de Cali: Departamento de Biología-Universidad del Valle.
- Johnston-Gonzales, R., Ruiz-Guerra, C., Eusse-Gonzales, D., Castillo-Cortés, L., Cifuentes-Sarmiento, Y., Falk-Fernandez, P., et al. (2010). Plan de conservaciones para aves playeras en Colombia. Santiago de Cali: Asociación *Calidris*.
- Jørgensen, S., & Fath, B. (2001). *Fundamentals of ecological modelling: Applications in environmental management and reserach*. Amsterdam: Elsevier.
- Kingsland, S. (1995). *Modelling Nature: Episodes in the history of population ecology*. Londres: University of Chicago Press.

- Koivula, K., & Rönkä, A. (1998). Habitat deterioration and efficiency of antipredator strategy in a meadowbreeding wader, Temminck's stint (*Calidris temminckii*). *Oecologia*, 348-355.
- Krebs, C. (2009). *Ecology* (6 ed.). San Francisco: Benjamin Cummings.
- Kuwae, T., Beninger, P., Decottingnies, P., Mathot, K., Lund, D., & Elner, R. (2008). Biofilm grazing in a higher vertebrate: the western sandpiper *Calidris mauri*. *Ecology*, 599-606.
- Kuwae, T., Miyoshi, E., Sassa, S., & Watabe, Y. (2010). Foraging mode shift in varying environmental conditions by dunling *Calidris alpina*. *Marine Ecology Progress Series*, 281-289.
- Lagerspetz, K., & Vainio, L. (2006). Thermal behaviour of crustaceans. *Biological Reviews*, 237-258.
- (2010). U.S Endangered species, sub species and trends. En D. Lebbin, M. Parr, & G. Fenwick, *The American Bird Conservancy Guide to Bird Conservation* (pág. 58). Chicago: University of Chicago Press.
- Lucero, C., Bolivar, G., Peña, E., & Neira, R. (2008, Enero 7). Utilización de la macrofauna bentónica como indicador de calidad ambiental en la desembocadura del río Anchicayá, Pacífico colombiano. Retrieved Mayo 13, 2013, from Revista EIDENAR: <http://eidenar.univalle.edu.co/revista/ejemplares/7/l.htm>
- MacRae, I., & Armstrong, J. (2000). High soil moisture effects on pupation of sugarbeet root maggot *Tenatops myopaeformis* (Roder) (Diptera: Otitidae). *Journal of Sugar Beet Research*, 33-40.
- Macwhirter, B., Austin-Smith, J., & D, K. (2002). Sanderling (*Calidris alba*). Retrieved Mayo 5, 2013, from *The Birds of North America Online*: <http://bna.birds.cornell.edu/bna/species/653>
- MADS. (2011, Noviembre 3). Ecosistemas Estratégicos. Retrieved Marzo 25, 2013, from Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible: <http://www.minambiente.gov.co//contenido/contenido.aspx?catID=1097&conID=5551>
- Mancera, E., Peña, E., Giraldo, R., & Santos-Martínez, A. (2003). *Introducción a la modelación ecológica: Principios y aplicaciones*. Santafé de Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- MARN. (2009). *Introducción a los procesos costeros*. San Salvador: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales del Salvador.

- Martínez-Ardila, N., Jaramillo-Rodríguez, O., & Robertson, K. (2005). Amenazas naturales en el litoral Pacífico colombiano asociadas al ascenso del nivel del mar. Cuadernos de geografía-Universidad Nacional de Colombia, 83-96.
- Mathot, K., Smith, B., & Elner, R. (2007). Latitudinal clines in food distribution correlate with differential migration in the western sandpiper. *Ecology*, 88(3), 781-791.
- Meltofte, H., Piersma, T., Boyd, H., McCaffery, B., Barbara, G., Golovnyuk, V., et al. (2009). Effect of climate variation on the breeding ecology of Arctic shorebirds (Vol. 344). Copenhagen, Dinamarca: Monographs on Greenland.
- Moldoveanu, A. (2012). Environmental factors influences on bacterial biofilms formation. *Annals of The Romanian Society for Cell Biology*, 118-126.
- MØller, A., Fiedler, W., & Berthold, P. (2004). Birds and climate change: Advances in ecological research. Londres: Elsevier Academic Press.
- Morales, G. (2001). Dinámica temporal y selección de hábitats de forrajeo para aves playeras en dos localidades de la bahía de Buenaventura (Pacífico colombiano). Santiago de Cali: Departamento de Biología-Universidad del Valle.
- Moran, A. (1999). Size and performance of juvenile marine invertebrates: Potential contrasts between intertidal and subtidal benthic habitats. *American Zoologist*, 304-312.
- Naranjo, L. (2006). Diversidad de aves playeras en Colombia. In A. Calidris, R. Jhonston-González, L. Castillo, & J. Murillo (Eds.), *Conocimiento y conservación de aves playeras en Colombia* (p. 29). Colombia: Asociación Calidris.
- National Science Fundation. (2012, Noviembre 1). Stirred Not Mixed: How Seawater Turbulence Affects Marine Food Webs. Retrieved Abril 2, 2013, from [http://www.nsf.gov/news/news\\_summ.jsp?cntn\\_id=125863&WT.mc\\_id=USNSF\\_51&WT.mc\\_ev=click](http://www.nsf.gov/news/news_summ.jsp?cntn_id=125863&WT.mc_id=USNSF_51&WT.mc_ev=click)
- Nebel, S., & Thompson, G. (2005). Foraging behaviour of western sandpiper changes with sediment temperature: implications for their hemispheric distribution. *Ecological Research*, 20, 503-507.
- Nebel, S., Lank, D., O'Hara, P., Fernández, G., Haase, B., Delgado, F., et al. (2002). Western sandpiper (*Calidris mauri*) during the non-breeding season: Spatial segregation on a hemispheric scale. *The Auk*, 922-928.
- NSW Scientific Committee. (2011 de Junio de 2011). NSW Government-Environment and Heritage. Recuperado el 25 de Mayo de 25, de Curlew sandpiper *Calidris ferruginea*- proposed endangered species listing: <http://www.environment.nsw.gov.au/determinations/curlewsandpiperPD.htm>

- O'Hara, P., Haase, B., Elner, R., Smith, B., & Kenyon, J. (2007). Are population dynamics of shorebirds affected by El Niño/Southern Oscillation ( ENSO) while on their non-breeding ground in Ecuador? *Estuarine, Coastal and Marine Science*, 1-13.
- Okey, T., Banks, S., Born, A., Bustamante, R., Calvopiña, M., Edgar, G., et al. (2004). A trophic model of a Galápagos subtidal rocky reef for evaluating fisheries and conservation strategies. *Ecological Modelling*, 172, 383-401.
- ONU. (1992). *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Nueva York: Organización de Naciones Unidas.
- Pabón, J. (2012). Cambio climático en Colombia: Tendencias en la segunda mitad del siglo XX y escenarios posibles para el siglo XXI. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 36(139), 261-278.
- Pabón, J. (n.d.). *El cambio climático en Colombia*. Santafé de Bogotá: Departamento de Geografía-Universidad Nacional de Colombia.
- Paine, R. (1980). Food webs: Linkages, interaction strength and community infrastructure. *The Journal of Animal Ecology*, 49(3), 666-685.
- Parmesan, C., & Yohe, G. (2003). A globally coherent fingerprint of climate change across natural systems. *Nature*, 421, 37-42.
- Posada, B., & Rozo, D. (2012). Los espacios oceánicos y zonas costeras e insulares de Colombia. In INVEMAR (Ed.), *Informe del estado de los ecosistemas marinos y costeros en Colombia* (pp. 17-25). Santa Marta, Colombia.
- Pretacci, P., Canevari, M., & Bremer, E. (2005). *Guía de aves playeras y marinas migratorias del Sur de América del Sur*. República de Argentina: Escuelas Hermanas de Aves Playeras.
- PRF. (2013). La brecha demográfica actual aumenta. Retrieved Mayo 25, 2013, from Population Reference Bureau: <http://www.prb.org/SpanishContent/Articles/2008/2008WPDSspa.aspx>
- Rahsmtorf, S. (2008). Anthropogenic Climate Change: Revisiting the facts. In E. Zedillo, *Global Warming: Looking Beyond Kyoto* Washington: Brookings Institution Press. 34-53.
- RHRAP. (2009). Red Hemisférica de Reservas para Aves Playeras. Recuperado el 30 de Abril de 2013, de [www.whsrn.org/es/sobre-la-rhrap](http://www.whsrn.org/es/sobre-la-rhrap)
- Rouco, M. Limícolas II. Recuperado el 5 de Mayo de 2013, de *Aves ibéricas*: <http://www.avesibericas.es/texasaves7.htm>

- Ruiz-Guerra, C. (2004). Distribución espacio-temporal y comportamiento de las aves playeras en el Parque Nacional Natural Sanquianga (Nariño, Colombia). Barranquilla: Departamento de Biología-Universidad del Atlántico.
- Schlacher, T.A., Schoeman, D.S., Dugan, J., Lastra, M., Jones, A., Scapini, F., McLachlan, A. (2008). Sandy beach ecosystems: key features, sampling issues, management challenges and climate change impacts. *Marine Ecology*, 29, 70-90.
- Seaman, D. (2003). Inter-site variation in biological and physical site characteristics and foraging behavior of western sandpiper using migratory stopover sites. En *Landscape physiology: Plasma metabolites, fattening rates and habitat quality in migratory western sandpipers* (págs. 23-39). Burnaby: Simon Fraser University.
- Şekercioğlu, Ç., Daily, C., & Ehrlich, P. (2004). Ecosystems consequences of bird declines. *Proceedings of the Natural Academy of Science*.
- Stroud, D., Davidson, N., West, R., Scott, D., Haanstra, L., Thorup, O., et al. (2004). Status of migratory wader population in Africa and Western Eurasia in the 1990s. *International Wader Studies*, 1-259.
- Thomas, G., Wills, M., & Székely, T. (2004). A supertree approach to shorebird phylogeny. *BMC Evolutionary Biology*, 4(28).1-18
- Weis, J. (2008, Mayo 23). Predator and prey: Top-down control. Retrieved Septiembre 19, 2012, from The Encyclopedia of Earth: [http://www.eoearth.org/article/Top-down\\_control?topic=58072](http://www.eoearth.org/article/Top-down_control?topic=58072)
- Wilson, W. (1990). Relationship between prey abundance and foraging site selection by semipalmated sandpipers on Bay of Fundy mudflat. *Journal of Field Ornithology*, 9-19.
- Wolf, S., Snyder, M., Sydeman, W., Doak, D., & Croll, D. (2010). Predicting population consequences of ocean climate change for an ecosystem sentinel, the sea bird Cassin's auklet. *Global Change Biology*, 16, 1923-1935.

## ANEXO 1. Matriz de Marco lógico

<b>Objetivo general</b> : Estimar los posibles impactos del cambio climático en el estado actual de las poblaciones de aves playeras del género <i>Calidris</i> (familia <i>Scholopacidae</i> ) en playas arenosas del Suroccidente del país mediante la creación de un modelo hipotético			
<b>Enunciado del objetivo</b>	<b>Actividad</b>	<b>Supuestos</b>	<b>Indicador</b>
<p><b>Objetivo específico 1</b></p> <p>Conocer el estado histórico y actual de las poblaciones de aves playeras <i>Calidris</i> y el estado del arte de sus interacciones y roles ecológicos.</p>	<p>1. Búsqueda de datos en bases de datos y en organizaciones especializadas en aves acerca de la historia natural de las aves playeras, haciendo especial énfasis en las del género <i>Calidris</i>.</p> <p>2. Hacer visitas a las playas arenosas del pacífico en épocas de presencia de aves con el fin de hacer observaciones etológicas y recolección de apuntes.</p>	<p>1. Existe información ecológica, etológica y de historia natural de las aves del género <i>Calidris</i> en las bases de datos, los libros y la internet</p> <p>2. La información científicamente válida, es asequible y es susceptible de tenerse completa.</p> <p>3. Hay buen clima para desplazarse a las zonas de avistamiento.</p> <p>4. Existen los medios económicos y logísticos (tiempo, implementos, asesoría, dinero) para desplazarse y hacer observaciones.</p>	<p>1. Elaboración de resúmenes y compendios revisados por el tutor del proyecto.</p> <p>2. Notas de campo y fotografías de las observaciones.</p>
<p><b>Objetivo específico 2</b></p> <p>Evaluar el impacto actual de los tensores ambientales locales asociados a cambio climático en los ecosistemas costeros del Suroccidente de Colombia.</p>	<p>1. Documentarse acerca del efecto del cambio climático y sus consecuencias a nivel global y a nivel nacional</p> <p>2. Elaborar modelo de cajas, donde se irán adicionando tensores y se realizara toma de datos para cada tensor y para la reunión de todos</p>	<p>1. Los factores climáticos escogidos como tensores están afectando las costas suroccidentales del país.</p> <p>2. Existe información con soporte científico de los efectos del cambio climático en Colombia, el mundo y la región pacífica del continente americano.</p> <p>3. Existen trabajos previos sobre el tema que puedan ser comparados con el que se va a realizar.</p> <p>4. El programa de modelación se encuentra disponible y existe tiempo por parte del estudiante para aprender a operarlo; además de un asesor de apoyo.</p>	<p>1. Elaboración de escrito que describa los tensores principales de cambio climático y las características de los ecosistemas playa arenosa y plano lodoso</p>
<p><b>Objetivo específico 3</b></p> <p>Evaluar diferentes escenarios propuestos por IPCC en playeros en la costa Suroccidente del país</p>	<p>1. Se correrá el modelo con las condiciones predictivas o hipotéticas que plantea IPCC Se hará recolección de gráficas y de todo lo que se considere pertinente.</p>	<p>1. El programa es exitoso modelando los escenarios planteados por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático.</p> <p>2. Existe información que nos permita comparar los resultados obtenidos para dichos escenarios.</p>	<p>1. Presentación de submodelos para cada variables que sea afectada por cambio climático y que incidan en la red trófica de <i>Calidris</i>. 2. Formulación de un modelo global que las integre.</p>

