

AMBIENTE

Costa Rica,
2021,
carbóno neutral
(segunda parte)

SUMARIO

3 Pedro León

[SIGNIFICADO DE LA CARBONO-NEUTRALIDAD PARA COSTA RICA](#)

5 Edmundo Castro

[PERSPECTIVAS DE CAMBIO HACIA LA CARBONO-NEUTRALIDAD MEDIANTE TRANSFORMACIONES EN EL SECTOR AGROPECUARIO](#)

7 Elias de Melo

[PRINCIPIOS GENERALES Y MODELO VALORATIVO DE VULNERABILIDAD Y ADAPTABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO EN FINCAS CAFETALERAS](#)

10 José Sibaja y Javier Rodríguez

[MERCURIO EN EL AIRE DEL VALLE CENTRAL](#)

13 Jorge Fallas

[EL LEVANTAMIENTO DE LA LÍNEA FRONTERIZA ENTRE COSTA RICA Y NICARAGUA, EN 1898, EN EL SECTOR DEL RÍO SAN JUAN Y SU CONCORDANCIA CON LA CARTOGRAFÍA OFICIAL DE COSTA RICA DE 2010](#)

Foto de portada y contraportada: Luis Diego Marín Schumacher.

AMBIENTICO

Revista mensual sobre la actualidad ambiental

Director y editor: Eduardo Mora

Consejo editor: Manuel Argüello, Gustavo Induni, Wilberth Jiménez, Luis Poveda

Edición de textos: Andrea Amighetti

Asistencia, administración y diagramación: Rebeca Bolaños

Fotografía: www.galeriaambientalista.una.ac.cr

Teléfono: 2277-3688. Fax: 2277-3289

Apartado postal: 86-3000, Costa Rica.

ambientico@una.ac.cr

www.ambientico.una.ac.cr

www.galeriaambientalista.una.ac.cr

**MILES DE FOTOS
DEL AMBIENTE TICO
Y MESOAMERICANO**

Antes de que el caluroso destino nos alcance

Después de décadas de que en Costa Rica nadie osara plantear públicamente la posibilidad de explotar la geotermia en parques nacionales, hace unos siete años muchos empezaron a atreverse a hacerlo e incluso se tuvo el arrojito de no solo presentar a la Asamblea Legislativa un proyecto de ley para que el Instituto Costarricense de Electricidad (Ice) pudiera explorar y aprovechar esa riqueza del subsuelo, sino también las agallas de rechazarlo arguyendo *nada más* impedimentos legales y no razones conservacionistas. Posteriormente y hasta hoy, algunos especialistas y líderes de opinión – ¿dísculos o, más bien, sintonizados con la actualísima problemática del calentamiento global?– han seguido abogando por la explotación geotérmica en áreas protegidas, que es donde mayoritariamente están los yacimientos de vapor aprovechable en Costa Rica, y, curiosamente, no hay quien salte y les refute ni mucho menos les regañe, como si el movimiento ambientalista tico tuviera la absoluta certeza de que la pertinaz propuesta de esos “productivistas” es del todo vana, y no valiera la pena entrar en liza con ellos, o, más bien, como si en ese movimiento no hubiera ya vehemencia para la defensa de la más que secular intocabilidad de los parques nacionales. Esto dicho sin negar que ante preguntas de la prensa los activistas ambientalistas hayan persistido en su prédica conservacionista, sino solo afirmando que ya ellos no toman la iniciativa en ese punto ni se les nota arrestos.

Si esta percepción del estado del “debate” nacional sobre la explotación geotérmica y la intrínscula ecológica que comporta fuera correcta, la explicación sería que la crisis del cambio climático no es para menos, o sea, que el estado de ese “debate”, o de ese no-debate, es un reflejo del pánico general ante el cambio climático, que ha modificado la correlación de fuerzas en la pugna sobre qué fuentes de energía exprimir.

Y es que a los que son simples cancerberos de los parques nacionales les queda fácil asumir la defensa a ultranza de estos y rechazar cualquier intento de aprovechamiento económico en ellos; y a los que tienen como único propósito abortar el cambio climático no les es difícil pronunciarse por un cuidadoso aprovechamiento de la geotermia en nuestros parques, con tal de relegar los combustibles fósiles; pero, en contraste, los ambientalistas “integrales” están en una posición complicada: tienen que insistir en que se debe prescindir del petróleo y, simultáneamente, les es obligado repulsar el aprovechamiento de la abundante geotermia de nuestros parques, aunque fuera una empresa estatal de bastante credibilidad (el Ice) la que se encargara del trabajo. Sin embargo, ante tal dilema brillan por su desenfado y listeza los que abominan de la explotación geotérmica en parques y, simultáneamente, del uso del petróleo, blandiendo como alternativa a ambos el aprovechamiento de la radiación solar y el viento y reivindicando un bajonazo violento del consumo de energía por parte de toda la sociedad. Blanden y reivindican eso pero no se ruborizan de su rotundo desconocimiento del teje y maneje ingenieril y financiero para hacer viables ahora las instalaciones de aprovechamiento de la radiación solar y el viento, ni parecen sentirse incómodos por no tener ni idea de cómo actuar políticamente en el plazo necesario para nada menos que hacer cambiar de rumbo este sistema socioeconómico y esta cultura consumista y productivista antes de que el aciago y caliente destino nos alcance y nos quemé.

Significado de la carbono-neutralidad para Costa Rica

PEDRO LEÓN

En 1992 se firmó en Río de Janeiro la Convención de Biodiversidad, al amparo de las Naciones Unidas, como un primer acuerdo global sobre la urgencia de administrar sosteniblemente los recursos naturales para nuestra propia sobrevivencia como especie. En esa misma reunión, se estableció la Comisión Marco de Cambio Climático principalmente motivada entonces por el evidente daño antropogénico de los *clorofluorocarbonos* sintéticos a la capa de ozono, y por una creciente preocupación sobre los gases de efecto invernadero cuyo impacto no era tan evidente hace veinte años. Las 16 reuniones de la Conferencia de las Partes (Cop) de la Comisión Marco de Cambio Climático que se han celebrado desde entonces, revelan un singular aumento en la preocupación de los países sobre el impacto que los gases de efecto invernadero están teniendo sobre el sistema climático de la Tierra. Igualmente, se ha fracasado en lograr acuerdos vinculantes para evitar alzas en los niveles de estos gases que fueren un aumento mayor de 2 °C para finales de siglo. En la actualidad, los 10 países con mayores emisiones del mundo son los responsables del 86 % del total global, mientras que las emisiones de Centro América y Panamá comprenden solo 0,5 %.

Los estudios del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2007) promovidos en la Comisión Marco de Cambio Climático, además de otros análisis como aquellos impulsados por las academias de ciencia (Academias de Ciencia, 2009; Brown, 2009) plantean un panorama bastante alarmante sobre el impacto de la liberación acelerada de dióxido de carbono (CO₂), metano y otros gases de efecto invernadero a la atmósfera terrestre como resultado de la combustión de combustibles fósiles. Es evidente que la industria química y petrolera se han desarrollado bajo la premisa que el petróleo es abundante, inexhaustible y barato, un combustible ideal dada su alta densidad energética. Resulta, también, evidente que los combustibles fósiles –producto de fotosíntesis antigua– son la base de una industria química estratégica necesaria para proveer muchos bienes: plásticos, pesticidas, fertilizantes,

materiales sintéticos, algunos considerados de primera necesidad como diversos productos médicos. Se deduce, finalmente, que esta industria es incompatible con la quema de los combustibles fósiles, los cuales se han venido consumiendo desde hace solo dos siglos, a una tasa creciente para eliminar todas las reservas de fácil acceso y de mejor calidad. Es probable que, en esta década, la humanidad llegue al pico de consumo de petróleo, si no lo hemos sobrepasado ya. Millones de años de fotosíntesis consumidos en solo 200 años debe ser motivo de reflexión; reservas que según algunas estimaciones hemos consumido a la tasa de 20 mil años de fotosíntesis cada día de hoy. Es previsible un aumento en el precio del barril de petróleo, que para el gobierno de Costa Rica (Recope) es el rubro más alto por un solo producto.

Los estudios sobre emisiones de CO₂ por combustión de diesel y gasolina revelan que en Costa Rica el transporte público y privado es la principal fuente de emanaciones (Martínez, 2010). Está por encima de las emisiones producidas por actividades agrícolas que, siempre y cuando se evite la deforestación, son modestas y tecnológicamente manejables. Los inventarios indican que si el país quiere lograr la carbono-neutralidad para 2021, tal como lo propuso el expresidente Óscar Arias (Arias, 2007), tiene que atacar primordialmente el problema que consume la principal porción de gasolina y diesel.

Otro importante gas de efecto invernadero, producto de la respiración anaeróbica, es el metano que se acumula en botaderos y rellenos sanitarios. El metano tiene un potencial de captar energía calórica 21 veces mayor que el CO₂. La reingeniería del sector agrícola para utilizar el metano de los desechos y excretas como combustible –en vez de leña o “tropigás”–, está empezando a ocurrir. La Universidad Nacional y la Universidad Earth promueven ampliamente el uso de biodigestores, esta última ha colaborado con la instalación de miles de biodigestores en Guácimo y otras comunidades vecinas, según consta en el informe del presidente de la Universidad Earth al Consejo Directivo (2010).

En vista que, en primer lugar, la electricidad que Costa Rica produce casi toda es limpia; y, en segun-

El autor, biólogo genetista y ecólogo, es investigador en el Centro Nacional de Alta Tecnología (Cenat) y el Consejo Nacional de Rectores (Conare).

do, que de noche existe exceso de producción eléctrica con respecto al consumo; a mi juicio, la ruta más directa hacia la carbono-neutralidad es la promoción del transporte con autos y buses híbridos y eléctricos de inmediato. Dos procedimientos realistas son la recarga domiciliaria directa, tal como ya se practica, o las “bombas de baterías” donde baterías precargadas se intercambiarían rápidamente, tanto más rápido que el tiempo necesario para llenar el tanque del vehículo actualmente. Por cierto, estas “bombas” serían menos riesgosas que las actuales, pues las baterías no son explosivas y los viajes largos en este caso si serían más factibles. Puedo imaginar paradas de recarga para el transporte de carga domiciliaria, asociadas a auto restaurantes y sodas. Estos serán los esquemas que prevalecerán dentro de una década. Por consiguiente, los primeros inversionistas con una buena oferta serán los más exitosos.

Opino que, para lograr la carbono-neutralidad, el país necesita desarrollar, paralelamente, un sistema de transporte público eléctrico y silencioso; además, integrado al resto del sistema de transporte, con parqueos y conexiones para taxis y trenes en cada estación. En fin, el tipo de infraestructura cada vez más evidente en muchas capitales latinoamericanas, así como en numerosas regiones, por ejemplo, la bahía de San Francisco, interconectada por el *Bay Area Rapid Transit*. Se requiere una inversión muy grande, pero, a mi juicio, equivalente a tener que pagar alquiler toda la vida o, finalmente, hacer un préstamo para lograr vivienda propia. Con imaginación e ingeniería monetaria, deberíamos poder rembolsar la inversión con el ahorro de los \$2 mil millones de dólares que anualmente pagamos “de alquiler”. La autonomía energética de un país es una ventaja competitiva notable, que en este caso es, también, un mecanismo de mitigación que el país aporta.

Creo que el principal obstáculo para lograr este admirable propósito radica en la concertación interna de las entidades que estarían involucradas o se verían afectadas. Una ventaja es que el Instituto Costarricense de Electricidad se encuentra en el proceso de aumentar su capacidad de generación hidroeléctrica. Además, es probable que el futuro depare una amplia participación en la generación eléctrica, a pequeña escala, de muchas fuentes renovables si se aprueban leyes al respecto. En todo caso, debido al atraso tecnológico desafortunado, no tenemos aún muchas opciones para el transporte eléctrico ni ha aparecido el “modelo T” de los carros eléctricos que se gane el mundo, el “volkswagen eléctrico”. Otras fuentes de energía son importantes, así como otros avances que se darán en la captación de energía solar por celdas, en el uso de las mareas altas del Pacífico para producir electricidad, en el empleo de los biocombustibles de tercera generación por comunidades aisladas, en la producción agrícola con sistemas para el manejo de

agua, el almacenamiento de agua de lluvia y muchas otras medidas más (Cepal, 2009). Desde ya, la eficiencia es la otra acción ventajosa desde toda perspectiva. Hay soluciones, la pregunta es ¿existe la voluntad política y el apoyo público para implementarlas?

En reconocimiento a la urgencia de disminuir emisiones de gases con efecto de invernadero debido a su impacto sobre el clima terrestre, varios países, incluyendo a Costa Rica, se han propuesto llegar a compensar sus emisiones de carbono totalmente antes del 2050, más como un mensaje al resto de las naciones que como una solución real. El tema de fondo desde la perspectiva nacional, sin embargo, se refiere más que a mitigación a “soberanía energética”, y pretende liberar a Costa Rica de su dependencia total del petróleo extranjero para el transporte principalmente, cuya factura ha llegado a la suma de los \$2 mil millones y probablemente seguirá en acenso. Para poder llegar a ser un país carbono-neutral se requiere de un plan de transición en que el país aproveche el “valle de consumo eléctrico nocturno” que según *Estado de la nación* (2010) permitiría cargar miles de baterías cada noche sin tener que hacer alguna inversión adicional. Otras fuentes limpias de energía serán también vitales. El eslabón que aún no aparece para lograr avanzar es el carro eléctrico, el futuro “modelo T” que revolucione el transporte público y privado con energía limpia. El ahorro en la factura petrolera permitirá pagar los préstamos para la gran inversión en producción limpia y en un sistema de transporte público moderno, integrado, silencioso, puntual y eléctrico para el valle Central.

Referencias bibliográficas

- Contribución de los grupos de trabajo I, II y III al Cuarto informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2007). *Cambio Climático* (Informe de síntesis). Ginebra: IPCC.
- Academias de Ciencia. (2009). *Cambio climático y la transformación de las tecnologías energéticas para un futuro bajo en carbono*. México D. F.
- Brown, L. (2009). *Biodiversidad y cambio climático en Costa Rica*. San José: INBio
- Martínez, F. (2010). Evolución del sector energía, sus patrones de consumo y su impacto en la huella de carbono [Ponencia]. *Decimosexto informe Estado de la Nación*. San José: Programa Estado de la nación.
- Arias, O. (2007, julio 6). *Proclama sobre carbono-neutralidad*. Teatro Nacional.
- Earth biodigestores: Informe del presidente de la Universidad Earth al Consejo Directivo, años de 2008, 2009, 2010*.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe y Department for International Development [Departamento para el Desarrollo Internacional] (Cepal/DFID). (2009, marzo). *Informe de factibilidad: la economía del cambio climático en Centro América*.

Perspectivas de cambio hacia la carbono-neutralidad mediante transformaciones en el sector agropecuario

EDMUNDO CASTRO

“Se utilizan 10 calorías de energía provenientes de combustibles fósiles para producir 1 caloría de alimento ... así como 7 unidades de proteína vegetal y cerca de 40 000 unidades de agua para producir 1 unidad de carne”, apunta Al Gore en su publicación *Our Choice* (2009). Esta aseveración sobre el excesivo uso de energía en la agricultura industrial debe llegar a los políticos, los empresarios agrícolas y a los consumidores para sensibilizarlos y dirigir sus decisiones hacia el desarrollo de políticas para la transformación de un sector agropecuario predominantemente mecánico y de elevado costo social, hacia una actividad agroecológica, eco-tecnificada generadora de capital social y ambiental en su entorno, baja en emisiones de carbono, energéticamente más eficiente y acompañada de confianza en la calidad del producto que se ofrece en los mercados (Hall et al., 1992; Miller, 2007; Castro, 2007).

Las consecuencias sociales del deterioro ambiental provocado por la agricultura industrial irrumpen desde el inicio de la huella ecológica generada por la actividad productiva hasta el cierre de la cadena de valor en el consumidor final. En todos los procesos de esta cadena, se evidencia la dependencia en el uso de combustibles fósiles y el deterioro de la calidad ambiental en el sitio productivo y su entorno (Hall et al., 1992).

Las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) provenientes del uso excesivo de hidrocarburos en la producción, la industrialización y el comercio, consideradas como externalidades negativas de la actividad, no se consideran en los precios de los productos agrícolas, ni se cobran a los contaminadores, pero se le trasladan a la sociedad de alguna manera (Panayotou, 1994). En el escenario de la agricultura predominante, el ambiente no solo subsidia la producción mediante el aporte de servicios ambientales subvalorados: materia prima, calidad de suelos, oferta de agua, fijación del carbono, polinización, control biológico, entre otros, sino que también actúa como un sumidero de desechos en ríos, atmósfera y océanos, los cuales se utilizan como bienes libres. Es decir, se usan para descargar

desechos y contaminantes que, si se les diera tratamiento previo, representarían un costo para la empresa. Ese costo, no registrado en la contabilidad tradicional, se transfiere a la sociedad generando pérdida de bienestar social.

Cuando el ecosistema se utiliza como depósito de contaminantes, permite de manera desleal mayor competitividad y hasta mayor “eficiencia” para el sector, así como la concentración de riqueza para quienes ejercen la actividad productiva, pero acarrea consecuencias sociales para la mayoría (Brown, 2001). Una organización que utiliza el ecosistema como sumidero de desechos, le está transfiriendo costos ocultos en la contabilidad a la sociedad. Lamentablemente, eso permite producir a menor costo y, por ende, competir con precios más bajos en el mercado. Esa tarifa no es más que la competencia ambientalmente desleal con la que opera gran cantidad de organizaciones que no han integrado su actividad productiva con el ambiente.

La evidente ineficiencia energética de la agricultura industrial ante la sobreutilización y su repercusión en el calentamiento global por las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxidos nitrosos (N₂O) derivados de la producción y los procesos –sin considerar las afectaciones en los suelos, las aguas y la gente, entre otros– representa un costo no estimado ni contabilizado. Este se traduce en ganancia para la empresa, pero, a su vez, representa empobrecimiento y el sometimiento del ecosistema del planeta y de sus generaciones, actuales y futuras, a una presión socioambiental.

A pesar de lo anterior, se evidencia un esfuerzo transformador en el sector. La tendencia hacia la carbono-neutralidad representa una acción empresarial por reducir los costos socioambientales o las externalidades negativas. Eso implica, por lo tanto, repensar y replantear la agricultura, estableciendo prácticas de producción bajas en carbono e internalizando los costos socioambientales en los análisis de costo-beneficio y en la toma de decisiones de responsabilidad social.

El autor, economista agrícola especialista en evaluación económica del impacto ambiental, es coordinador de la Unidad de Carbono Neutro de la Universidad Earth.

La carbono-neutralidad representa un esfuerzo voluntario del sector por reducir las emisiones de CO₂. Se acompaña de innovaciones tecnológicas, de adaptaciones en la contabilidad de costos ambientales; de levantamiento de información de emisiones, reducciones y remociones de CO₂ en el sector. Las organizaciones comprometidas en el proceso y mantenimiento de la carbono-neutralidad establecen un sistema de gestión de la calidad que permite la evaluación del proceso mediante validaciones y verificaciones de emisiones netas de gases de efecto invernadero. El registro de emisiones, en los procesos productivos, conduce a una mejora continua tecnológica, la identificación de fugas de energía, la búsqueda del ahorro energético, la reducción de costos y, por ende, mayor competitividad.

La neutralidad de las emisiones, en la empresa agrícola, es un proceso de contabilización de costos ambientales que conduce al uso eficiente de energía mediante adaptaciones tecnológicas que permiten al empresario implementar acciones de reducción y mitigación de emisiones. Estas se realizan aprovechando la capacidad del agroecosistema, como parte de un organismo vivo, de auto-organizarse para mitigar el restante de emisiones de CO₂ mediante la fotosíntesis.

La responsabilidad empresarial derivada de la neutralización de emisiones implica introducir cambios tecnológicos tendientes a una actividad agrícola y ecológica energéticamente equilibrada. Además, supone implementar acciones de recuperación biológica, tales como el restablecimiento de los suelos mediante microorganismos como bacterias, hongos y lombrices que descomponen la materia orgánica e incorporan el carbono como parte del suelo. Un terreno rico en carbono es fértil y vivo. Formar y recuperar suelos es un reto para la empresa agrícola emergente, con lo cual se reduce las emisiones a la atmósfera y se revitaliza, a su vez, la riqueza productiva de los suelos.

No obstante, la neutralidad del carbono, como parte de la responsabilidad social de la empresa, no es suficiente si no hay una verdadera sensibilización de los empresarios y quienes colaboran en el proceso productivo. La empresa agrícola emergente surge cuando el empresario visualiza en el suelo la piel del planeta y relaciona sus prácticas productivas con el enriquecimiento de la biosfera mediante el valor agregado energético (Nemeth, 1993).

Dentro de las perspectivas de cambio, el esfuerzo de Costa Rica por alcanzar la carbono-neutralidad para 2021 representa retos y oportunidades para nuestros empresarios agrícolas, entre estos, el reto de incursionar en un mercado emergente que exige procesos bajos en carbono, así

como la oportunidad para reducir la dependencia de energía fósil y adoptar el uso de energías alternativas.

De todos modos, ante las condiciones predominantes de ladera, alta precipitación, baja fertilidad y escasa materia orgánica en nuestros suelos tropicales, aunado al aumento de la temperatura por el efecto invernadero, urge cambiar la perspectiva productiva, si pretendemos mantenernos competitivos en el futuro. Bajo las condiciones de producción actual, nuestros productos no podrán persistir en mercados emergentes, dada la exigencia de calidad.

Un producto, respaldado por un proceso y una organización, certificado como carbono-neutro, probablemente se inserte con mayor facilidad en el mercado y sea mejor aceptado por el consumidor. Lo anterior constituye un incentivo para que la organización mantenga la certificación y la documentación que respalda los inventarios anuales netos de emisiones de CO₂, los datos que acompañan la remoción de CO₂ en bosques con su respectiva georreferenciación, así como los resultados transparentes de auditorías.

La Universidad Earth, mediante su Unidad Certificadora de Carbono Neutral, trabaja con organizaciones en la sensibilización de los empresarios y sus colaboradores, también orienta el proceso técnico para que logren la carbono-neutralidad en sus emisiones de CO₂ y, por ende, reduzcan el uso y la dependencia energética. A su vez, este proceso desarrolla las habilidades humanas dentro de la empresa y contribuye a la definición de mecanismos para optimizar la energía que culminan con ahorro en costos y un personal más sensibilizado desde la perspectiva ambiental.

Se utiliza la normativa ISO 14064 que representa una guía para las organizaciones en el proceso hacia la carbono-neutralidad, ya que permite apoyar los contenidos de la documentación en términos del desarrollo de inventarios, reducciones y remociones de CO₂. La información requerida por la ISO 14064 se puede gestionar con la norma ISO 9001, la cual se evalúa con auditores calificados, de organismos validadores y verificadores competentes, quienes también conocen la norma ISO 14065.

Referencias bibliográficas

- Brown, L. (2001). *Eco-economy: Building an Economy for the Earth*. Earth Policy Institute. Nueva York: Norton & Company.
- Castro, E. (2007). *Oscuridad resplandeciente: conectando la dinámica social con flujos ecoenergéticos*. (Tesis de doctorado de la Universidad de La Salle, Costa Rica).
- Gore, A. (2009). *Our Choice: A Plan to Solve the Climate Crisis* (Young reader's edition). Estados Unidos: Rodale Books.
- Hall, C., Cutler, C.J. y Kaufmann, R. (1992). *Energy and Resource Quality*. Estados Unidos: University Press of Colorado.
- Miller, G.T. (2007). *Ciencia ambiental: desarrollo sostenible un enfoque integral* (Octava edición). México: Thomson.
- Nemeth, A. (1993). *Macrometanoia: un nuevo orden una nueva civilización*. Santiago Chile: Editorial Sudamericana.
- Panayotou, T. (1994). *Ecología, medio ambiente y desarrollo*. México: Ediciones Gernica.

Principios generales y modelo valorativo de vulnerabilidad y adaptabilidad al cambio climático en fincas cafetaleras

ELIAS DE MELO

La confirmación científica del incremento de la temperatura en el planeta, a partir de los efectos causados por actividades humanas, representa un desafío a escala global con impactos generales y, en particular, para las actividades agrícolas. La producción de café no está exenta; de manera que se suma, a las ya conocidas limitantes productivas, ambientales, de fluctuaciones de precios y altos costos de producción, otra importante dificultad: el calentamiento global. Sin lugar a duda, el sector productivo agrícola es uno de los más afectados directamente; en especial los estratos sociales de más escasos recursos.

Para entender el calentamiento global y su vínculo con la producción cafetalera, urge ampliar el conocimiento de principios generales que orienten el proceso para determinar el grado de vulnerabilidad de los sistemas de producción cafetaleros. Por otro lado, los esfuerzos de *mitigación*, es decir las “medidas que contribuyen a la reducción de los gases de efecto invernadero” (GTZ-Café direct, 2010), y *adaptación*, a saber, las “medidas que posibilitan convivir con el cambio climático y permiten una minimización de sus impactos negativos” (GTZ-Café direct, 2010) requieren herramientas prácticas que motiven la discusión general entre los técnicos y productores sobre la fragilidad de las fincas cafetaleras.

Seguidamente, se proponen algunos principios para ser tomados en cuenta en la búsqueda de alternativas de reducción de la vulnerabilidad. Se plantea un modelo valorativo de análisis del nivel de riesgo que amenaza las fincas cafetaleras. El modelo retoma aquellos temas centrales que deben ser considerados a la hora de entender el cambio climático y sus posibles impactos en la sostenibilidad de la finca. A continuación presentamos una lista inicial de *principios orientadores*.

a) *Origen humano del cambio climático*. El conocimiento predominante indica que el calentamiento global experimentado actualmente es producto prin-

social e industrial son factores que, apoyándose en el uso intensivo de combustibles fósiles y de cambio de la cobertura forestal, explican las alteraciones climáticas.

b) *La aceptación del fenómeno*. Si no aceptamos la realidad del calentamiento global no habrá posibilidad de compromiso hacia la mitigación y adaptación. Hay que informarse, discutir y disipar dudas que puedan comprometer nuestra actitud hacia un cambio de comportamiento.

c) *Impactos locales y globales*. El cambio climático está generando y podrá maximizar fenómenos como el aumento de la temperatura del planeta, las alteraciones en los patrones de cantidad de agua de las lluvias, la intensificación de huracanes, vientos, etc. De lo anterior se anticipan consecuencias para la producción agrícola. Se podrá experimentar un aumento en el riesgo de erosión de los suelos, la pérdida de fertilidad, la alteración de las floraciones, la incidencia de plagas y enfermedades, la caída de granos y el debilitamiento de las plantas, entre otros.

d) *Manejo de la complejidad*. Como lo indica Schepp: “la adaptación al cambio climático es un proceso muy complejo que necesita un aprendizaje continuo” (citado en GTZ-Café direct, 2010).

e) *Incremento de incertidumbre*. La producción de café, tradicionalmente, está asociada a muchas incertidumbres que afectan a las familias productoras. El cambio climático intensifica estas dudas y, por lo tanto, es muy importante contar con diferentes estrategias de análisis y adaptación.

f) *Compromiso de todos*. Hacer frente al cambio climático requiere compromisos efectivos y permanentes de las familias productoras, comunidades, organizaciones e instituciones, responsables de políticas públicas locales, nacionales e internacionales. En todos los ámbitos deben expresarse las estrategias de mitigación y adaptación.

El autor, ingeniero forestal especialista en manejo de recursos naturales renovables y en agroforestería tropical, trabaja en la División de Investigación y Desarrollo del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (Catie).



Gregory Basco

g) *Oportunidad de múltiples beneficios.* Las medidas de mitigación y adaptación representan esfuerzos extra por parte de las familias productoras, pero en definitiva pueden contribuir a acelerar el camino hacia la sostenibilidad y una mejor calidad de vida con resultados positivos para la conservación de suelos, agua y biodiversidad. No adaptarse significa aumentar los riesgos de los efectos negativos del calentamiento global.

El *modelo valorativo* propuesto a continuación integra temas centrales relacionados con la vulnerabilidad ante el cambio climático, con la finalidad de apoyar las reflexiones y acciones del sector cafetalero. El diseño de este modelo estimula a las familias productoras y al personal técnico de apoyo a valorar de manera cualitativa un conjunto de 25 preguntas que permitirán determinar el grado de vulnerabilidad y adaptabilidad de una unidad productiva. Los temas valorados están asociados al comportamiento del clima en la zona de influencia y a las posibles consecuencias productivas y ambientales que se están presentando. Permite, también, entender cómo está el sistema de producción de café, así como su entorno frente al cambio climático.

Dicho modelo constituye una propuesta de apoyo a los procesos de capacitación y asistencia técnica, particularmente con enfoque participativo, para facilitar la reflexión sobre los aspectos por considerar al

analizar el calentamiento global y sus consecuencias en el ámbito local. En este sentido, pretende complementar metodologías cuantitativas para la medición de impactos relacionados con el tema. De manera figurada, este corresponde al diagnóstico que hace un médico durante una valoración inicial sobre su paciente a fin de contextualizar su situación ante una serie de parámetros.

El formato del cuadro 1 se puede aplicar a una finca, pero también se pueden valorar tendencias a nivel de algún grupo de finca cafetalera. Para efectos didácticos es importante que al formular cada pregunta se discuta el tema y su relevancia para la mitigación y adaptabilidad. Con el fin de realizar una mejor valoración conviene estar en el campo para observar y compartir criterios antes de contestar determinadas preguntas.

Para cada pregunta del cuadro 1 el modelo sugiere tres opciones de respuesta: *sí*, cuando efectivamente se contesta de manera afirmativa sobre el fenómeno indagado; *no*, para expresar la negativa de ocurrencia del fenómeno; y *más o menos*, cuando se quiera indicar que el fenómeno ocurre en un nivel intermedio. Luego de contestar las 25 preguntas se determina la categoría de vulnerabilidad y adaptación en que se encuentra la finca o el grupo de fincas valorado. Se asigna un valor de referencia para cada una de las preguntas. A cada respuesta afirmativa se le atribuye

el valor -1, a la negativa, 1, y si la respuesta es *más o menos* se considera el valor 0,5. Seguidamente, se suman los valores correspondientes a cada una de las 25 preguntas y con el total de puntos conocido se clasifica dentro de las categorías del cuadro 2.

Cuadro 1. Preguntas para la valoración de la vulnerabilidad y adaptabilidad al cambio climático en fincas cafetaleras

		Marque la alternativa		
		SI	+ -	NO
1	¿Hubo cambios en la temperatura durante los últimos 10 años?			
2	¿En los últimos años las lluvias han sido irregulares?			
3	¿Hay un aumento de lluvia con inundaciones y derrumbes?			
4	¿Hay riesgo de huracanes y tormentas tropicales?			
5	¿Hubo sequías en los últimos años?			
6	¿Disminuyó la cantidad de agua disponible para la finca?			
7	¿Hay vientos fuertes y/o incremento de estos en los últimos años?			
8	¿La mayoría de los suelos en los cafetales y otros usos de la tierra en la finca presentan señales de erosión?			
9	¿Disminuyó la fertilidad de los suelos?			
10	¿Faltan prácticas de conservación de suelo en la mayoría del área?			
11	¿En los suelos de los cafetales (entre filas de plantas) está ausente la cobertura de hierbas y hojarasca?			
12	¿Hay floración irregular de café?			
13	¿Incrementó la caída de flores y frutos de café?			
14	¿Aumentó la defoliación de las plantas de café?			
15	¿Incrementó el daño de plagas y enfermedades en los cafetales?			
16	¿Hay áreas de cafetales a pleno sol o con menos de 20 % de cobertura de sombra o con exceso mayor al 70 %?			
17	¿Los cafetales son viejos (con más de 15 años)?			
18	¿Está ausente la práctica anual de poda y deshijas de cafetos?			
19	¿Está ausente, cada año, la resiembra de cafetos?			
20	¿Ha disminuido la producción en los últimos años?			
21	¿Se aplica más de 200 kg de N/ha/año de origen sintético (químico)?			
22	¿Está ausente la aplicación de abonos orgánicos?			
23	¿La mayoría de las quebradas y fuentes de agua están sin cobertura forestal?			
24	¿La mayoría de las áreas de otros usos de la finca están sin asocio con árboles?			
25	¿Están ausentes los procesos organizativos sobre mitigación y adaptación al cambio climático?			

Si bien es importante determinar en qué categoría de vulnerabilidad y adaptación está la finca o grupo de fincas valorado, lo más relevante es revisar cuáles son las limitantes, es decir, los temas que tuvieron valoración -1, y las potencialidades, correspondientes a los enunciados con valoración 1. Particularmente, se debe centrar la atención en los puntos críticos y reflexionar con las personas involucradas sobre las medidas que se pueden establecer y/o fortalecer para consolidar la mitigación y la adaptación.

Cuadro 2. Referencia para la valoración de categorías de vulnerabilidad y adaptación al cambio climático para fincas cafetaleras

Categoría de referencia	Puntaje obtenido en la valoración
1. Vulnerabilidad prácticamente ausente	De 20 a 25
2. Vulnerabilidad muy baja	De 15 a 19
3. Vulnerabilidad baja	De 10 a 14
4. Vulnerabilidad moderada	De 5 a 9
5. Vulnerabilidad medianamente crítica	De 1 a 4
6. Vulnerabilidad crítica	De -5 a 0
7. Vulnerable	De -10 a -6
8. Muy vulnerable	De -15 a -11
9. Extremadamente vulnerable	De -20 a -16
10. Totalmente vulnerable	De -25 a -21

Referencias bibliográficas

GTZ-Café direct. (2010). *Cambio climático y café: capacitación para productores y organizaciones cafetaleras*. Eschborn: Proyecto AdapCC.

Mercurio en el aire del valle Central

JOSÉ SIBAJA y JAVIER RODRÍGUEZ

El valle Central de Costa Rica está definido como el área comprendida entre la cordillera Volcánica Central al noreste y las estribaciones de la cordillera de Talamanca al suroeste, posee un clima tropical húmedo y una altitud media de 1 300 msnm. Asimismo, abarca las cabeceras de las cuatro provincias centrales: Alajuela, Cartago, Heredia y San José (IMN, 2000). El elevado crecimiento poblacional durante los últimos años generó la concentración de más del 60 % de la población y del 70 % de la actividad económica del país en esta área (Prugam, 2009).

La acción climatológica de los vientos alisios a que está expuesto el valle Central plantea dispersiones

de los contaminantes en dirección noreste y sudoeste principalmente (figura 1). A su vez, dentro de los compuestos tóxicos contaminantes del aire aparece el mercurio, que puede encontrarse tanto en estado elemental, como combinado en forma orgánica o inorgánica, lo cual le brinda gran movilidad en los ciclos biogénicos, es decir, los ciclos de movilidad del mercurio en el medio ambiente.

Los valores recomendados de mercurio en el aire para evitar afectación a la salud deben ser menores a $0,1 \text{ mg/m}^3$ o $0,05 \text{ mg/m}^3$ en ambientes de trabajo (Osha, 2000; ATSDR, 1999).

La exposición de mercurio en el ambiente puede tener varios orígenes y sumideros diferentes; no obs-



Figura 1. Dirección principal de los vientos en el valle Central

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional, 2000.

J. Sibaja, químico industrial, es investigador del Laboratorio de Química de la Atmósfera (LAQAT) de la Universidad Nacional (Una). J. Rodríguez, ingeniero químico especialista en medio ambiente y energía, es investigador del Laboratorio de Análisis Ambiental de la Una y profesor en esta misma universidad.

tante, en el caso del valle Central se puede considerar que una de las fuentes principales son las emisiones volcánicas (EPA, 2009) (figura 2). Justamente, esta área reúne varios de los principales volcanes del país,

entre los que destacan el Poás, el Turrialba, el Irazú y el Barva.

los efectos observados en áreas rurales, cercanas a los volcanes en esa dirección, de concentraciones mayo-

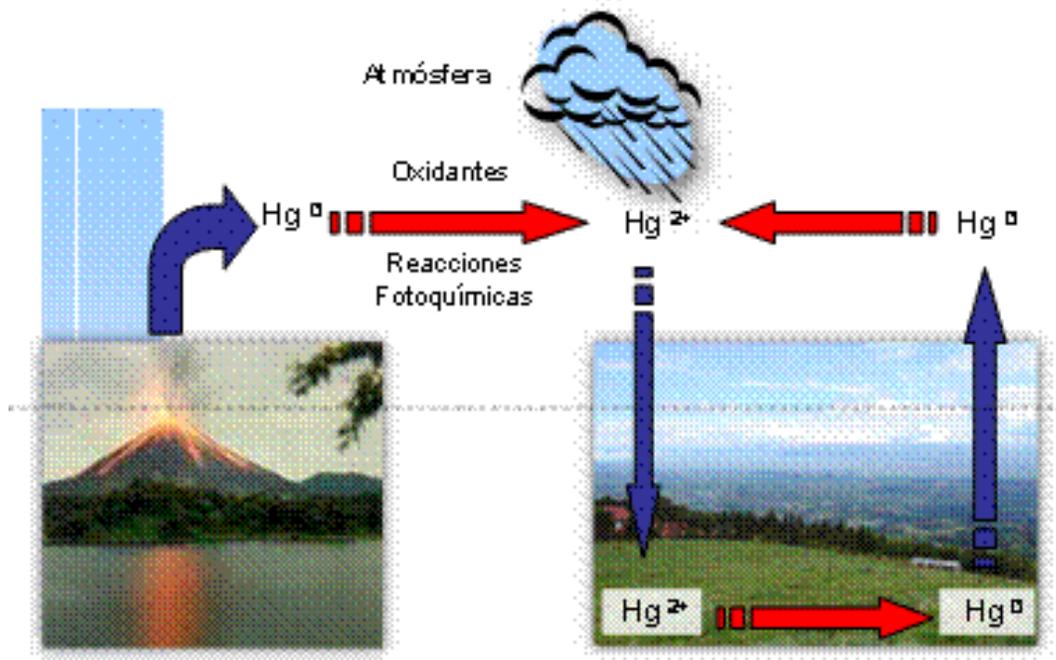


Figura 2. Ciclo del mercurio
Fuente: Castillo et al, 2009.

Al generarse emisiones puntuales –asociadas principalmente a los volcanes activos– se dispersan por la acción del clima. Los factores principales a considerar son la temperatura (T), la radiación solar (Rad), la humedad relativa (HR) y, la dirección y velocidad del viento (W) (Castillo et al., 2009).

Los valores medidos recientemente por el Laboratorio de Química de la Atmósfera (LAQAT) indicaron que el principal emisor volcánico es el Poás, con una emisión media diaria de unos 583 ng/m^3 ; seguido por el Turrialba, con 57 ng/m^3 ; y el Irazú, con valores en el entorno de 1 ng/m^3 . El volcán Barva, por su inactividad, no genera emisiones de importancia.

Los valores reportados plantean consideraciones basadas en la posibilidad de acumulación en el aire que dependen de acciones antropogénicas adicionales como las emisiones de los vertederos, los ríos, las industrias, los incendios y la minería, entre otros. A manera de ejemplo, se plantea que los valores medidos en áreas urbanas pueden llegar puntualmente, en algunos casos, a cerca del máximo recomendado de exposición, aunque normalmente se encuentran en el orden de los 5 a 30 ng/m^3 .

Igualmente, al estudiar la propagación de contaminantes emitidos por los volcanes del valle Central, se apreció una dispersión principal hacia el sureste (Martínez et al, 2000). Esta constatación corrobora

res a las esperadas, donde dichas emisiones pueden resultar el aporte principal.

Asimismo, los factores climáticos aportan componentes que incrementan o disminuyen los valores de mercurio en el aire, cuya concentración posee la siguiente proporcionalidad:

$$(Hg) \propto \frac{Rad * T * W}{HR}$$

Donde la temperatura y la radiación generan un aumento de la evaporación del mercurio hacia la fase gaseosa. A su vez, la radiación en el valle Central es más importante durante el día y en los meses de invierno (diciembre a abril), por haber menos nubosidad (Wright, 2002) (figura 3). Mientras que el efecto contrario se observa con la humedad relativa (HR) o, en su defecto, la precipitación atmosférica que contribuye a un aumento de la reactividad del mercurio frente a oxidantes atmosféricos y/o lavado de ese mercurio en el aire.

Por otro lado, el efecto del viento está condicionado por su dirección e intensidad respecto a las posibles fuentes principales de emisión. En el caso del valle Central resulta importante el aporte natural de los volcanes y la distribución de los vientos alisios.

Las mediciones realizadas durante la época previa y posterior al terremoto de Cinchona, del 8 de enero de 2009, demostraron que las concentraciones de

mercurio disminuyeron cuando se acercaba el efecto sísmico, siendo mínimas el día del evento y marcando

Mercurio. (s. f.). En *Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR)*. Disponible en http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts46.html

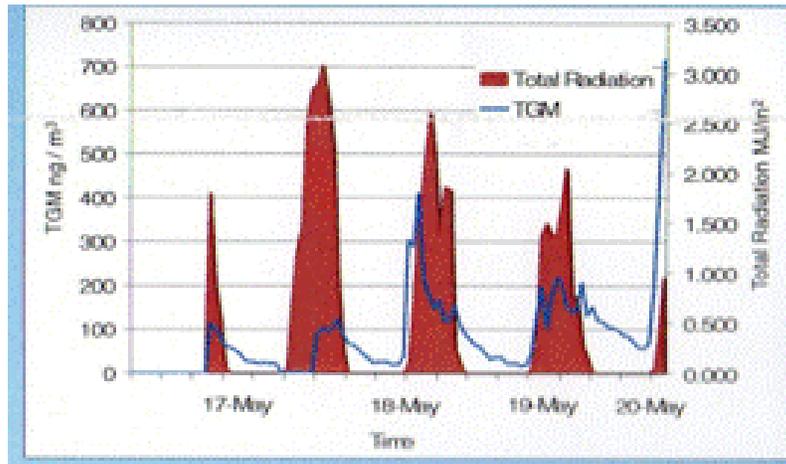


Figura 3. Efecto de la radiación en la concentración de mercurio en el aire

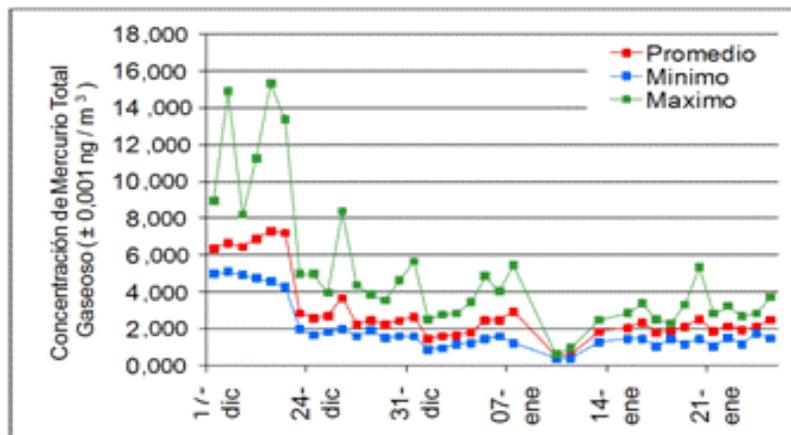


Figura 4. Concentraciones mínimas, máximas y promedio en San José de Alajuela entre 17-10-2008 y 21-1-2009

Fuente: Castillo et al., 2009.

la importancia de las emisiones volcánicas en la concentración de mercurio en el aire (figura 4).

Lo anterior muestra la importancia de medir el mercurio en el aire, tanto como contaminante tóxico del aire, como elemento de control frente a posibles eventos sísmicos asociados a volcanes.

Referencias bibliográficas

- Castillo, A., Valdés, J., Sibaja, J., Vega, I., Alfaro, R., Morales, J., Esquivel, G., Barrantes, E., Black, P., Lean, D. (2011). Seasonal and Diel Patterns of Total Gaseous Mercury Concentration in Atmospheric Air of the Central Valley of Costa Rica. *Journal of Applied Geochemistry*, 26, 242-248.
- Instituto Meteorológico Nacional (IMN). *Región Central: dos valles*. Disponible en <http://www.imn.ac.cr/educacion/climacr/>
- Martínez, E., Fernández, J., Valdés, V., Barboza, R., Van der Laat, E., Duarte, E., Malavassi, L., Sandoval, J., Barquero, T. (2000). Chemical evolution and volcanic activity of the active crater lake of Poas' volcano, Costa Rica, 1993-1997. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 97, 127-141.

- Plan Regional Urbano para el Gran Área Metropolitana de Costa Rica (Prugam), 2008-2030*. (2009). Costa Rica. Disponible en <http://www.prugam.go.cr>
- U.S. Department of Labor Occupational Safety and Health Administration (Osha). Disponible en <http://www.osha.gov/>
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (s.f.). *Mercurio, información básica*. Disponible en <http://www.epa.gov/mercury/about-espanol.htm>
- Wright, J. (2002). Informe de radiación solar en Costa Rica. *Revista Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, 9 (2)79-87. Disponible en http://www.imn.ac.cr/publicaciones/revista/Wright%20final%201112_02.pdf

El levantamiento de la línea fronteriza entre Costa Rica y Nicaragua, en 1898, en el sector del río San Juan y su concordancia con la cartografía oficial de Costa Rica de 2010

JORGE FALLAS

En 1897, el comisionado de Costa Rica le solicitó al árbitro E. P. Alexander que se procediera a medir y trazar la línea fronteriza desde tres millas abajo del Castillo Viejo hasta la desembocadura del río San Juan de Nicaragua. En la página 31 del Acta X se lee: "... en ejecución del Laudo emitido por el señor ingeniero árbitro, con fecha 20 de diciembre de 1897, se procedió a la medición de la línea fronteriza, según está descrito en el Laudo del 30 de septiembre de 1897 (Onu, 2007a). Se comenzó en el mojón inicial, se continuó alrededor del Harbor Head, se siguió por el primer caño que se encontró hasta el río propio y se llegó por este lado hasta la estaca número 40, inmediato al nacimiento del río Taura" (Acta X de 1898).

El levantamiento realizado se resume en un cua-

dro que contiene el nombre de la estación, puntos observados, ángulos horizontales, acimuts, distancia (m), coordenadas parciales (x, y) y coordenadas totales (x, y) (figura 1). En la página 31 del Acta X, al describir los datos del levantamiento se lee: "Levantamiento de la margen derecha de la laguna de Harbor Head (laguna Los Portillos) y la del río San Juan que constituye la línea divisoria entre Costa Rica y Nicaragua". Obsérvese que para las comisiones de Costa Rica y Nicaragua y el árbitro Alexander el derrotero levantado por las comisiones efectivamente describe de manera numérica el límite entre ambos países, tal y como Alexander lo describió en su Primer Laudo en 1897 (Onu, 2007a). Cualquier alteración a dicho derrotero, sin un sustento válido, constituye una violación al tratado limítrofe pactado entre

Estaciones	Estaca	Ángulos horizontales	Acimuts	Distancias metros	Coordenadas parciales x y	Coordenadas totales x y
20	19	25° 22' 45"	"	"	" "	" "
	21	227° 13' 00"	342° 54' 12"	295,25	-86,10 262,20	2290,91 1232,85
21	20	0° 00' 00"	"	"	" "	" "
	22	173° 53' 10"	"	"	" "	" "
	76	217° 27' 50"	20° 22' 02"	197,53	62,66 124,99	2359,59 1117,84

Figura 1. Copia de un segmento de las transcripciones que acompañan el Acta X (1898)

Los valores de las coordenadas permiten plasmar, en un plano bidimensional, la ubicación de cada punto del levantamiento geodésico en el sistema de coordenadas local creado por la comisión binacional y aprobada por Alexander en su calidad de árbitro.

Costa Rica y Nicaragua en el Tratado Cañas-Jerez de 1858 y ratificado en el Laudo Cleveland de 1888 (Onu, s.f.), la Convención Matus-Pacheco del 27 de marzo de 1896 (referente al modo de proceder en el trazo y amojonamiento de la línea fronteriza entre ambas repúblicas) y el Laudo N° 1 de E. P. Alexander de 1897 (Lobo, 2010).

De la página 27 a la 31 del Acta X, del 2 marzo de 1898, se lee: "... se procedió, primero, a efectuar la fijación del monumento que determina el punto de partida de la línea divisoria en la costa del mar Caribe, relacionándola con el centro de la plaza Victoria de San Juan del Norte" (Acta X, p. 27). Las observaciones astronómicas requeridas para determinar los acimuts se realizaron el 28, 30 y 31 de enero de 1898. "Distancia este monumento (mojón inicial) del centro de la plaza Victoria de San Juan del Norte 4 715,55 m con acimut geodésico de 244° 50' 23'' sexagesimales". "Las coordenadas del monumento o mojón inicial tomando por origen el centro de la plaza Victoria de San Juan del Norte, son, pues: x=4 268,28 m este; y=2 004,54 m norte; meridiana astronómica" (Acta X, p. 31). Con el fin de contar con otro punto de referencia en el lado opuesto de la laguna Harbor Head, el acta indica que "Se convino también en mandar a construir puntos de referencia relacionados con el primer monumento, uno en la margen opuesta de la laguna de Harbor Head, a 1 139 m del primero ... cuyo acimut resulta ser de 66° 41' 05'' y, otro, el expresado centro de la plaza Victoria de San Juan del

Norte" (Acta X, p. 31).

La figura 2 muestra el trazado del levantamiento aprobado por el árbitro Alexander, según aparece en las páginas 29 y 33 del Acta X, del 2 de marzo de 1898. El texto del acta, así como el derrotero y el plano derivado del mismo muestran con toda claridad la ubicación del perímetro de la laguna Harbor Head y la ubicación de la ribera derecha del río San Juan en 1898. A partir de dicho levantamiento, uno puede preguntarse ¿dónde se encuentran dichos elementos en la realidad de 2010? ¿Han cambiado los accidentes geográficos avalados por Alexander en marzo de 1898? ¿Se observa en el levantamiento de 1898 el channel (caño) mencionado por Alexander en su Primer Laudo? ¿Existe coincidencia entre el derrotero y los planos del Acta X? ¿Es posible transformar dichos derroteros al sistema de referencia CR05, proyección Transversal de Mercator para Costa Rica (CRTM05), elipsoide WGS84 de 2010?

Para responder a las preguntas anteriores, es necesario transformar el sistema cartesiano utilizado por la Comisión Bilateral de Límites para levantar la margen derecha de la laguna Harbor Head y del río San Juan (línea divisoria entre Costa Rica y Nicaragua) a la proyección Transversal de Mercator de Costa Rica (CRTM05) (Dörries, 2004; Gobierno de Costa Rica, 2007). La Comisión Bilateral, establecida por Alexander, utilizó el centro de la plaza Victoria en San Juan del Norte de Nicaragua como punto de referencia para medir la distancia y el acimut entre di-

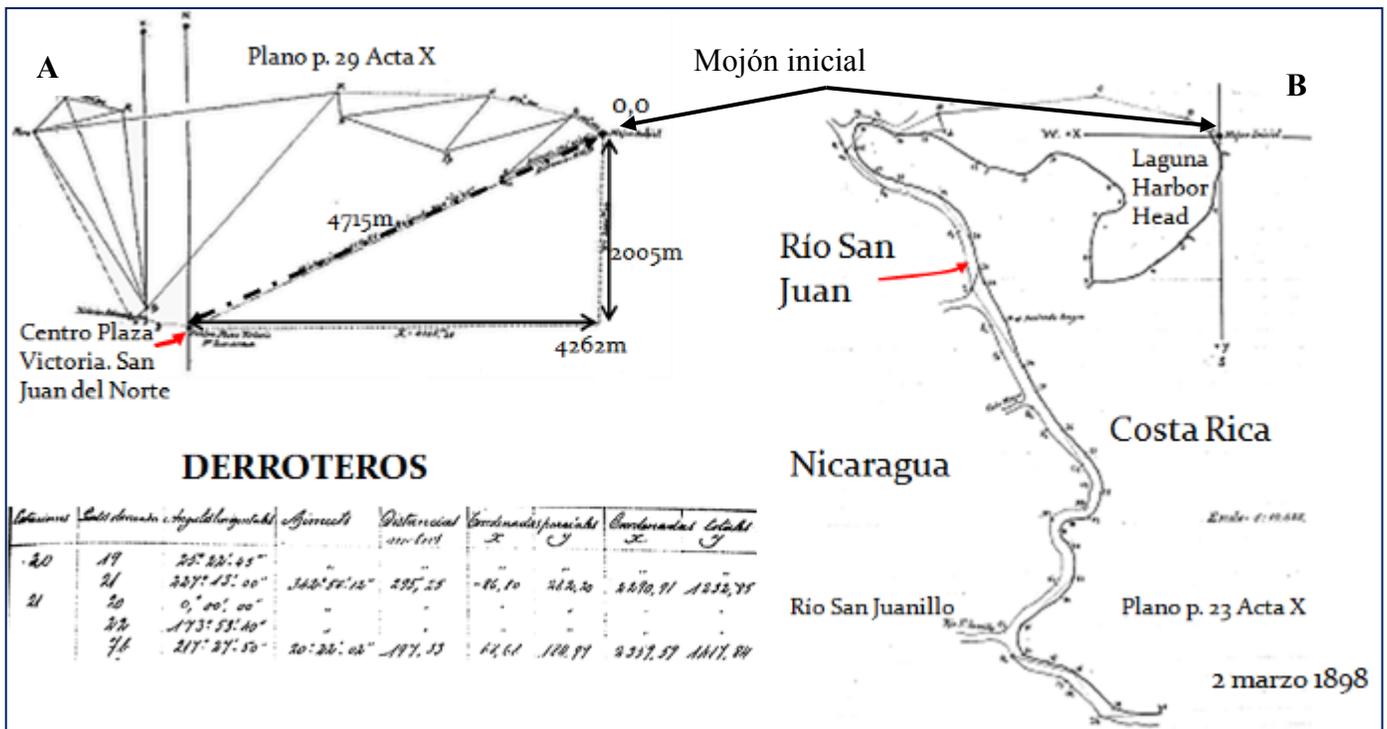


Figura 2. Plano del levantamiento realizado y aprobado por el árbitro Alexander en 1898

A. Error total (m). B. Relación entre las coordenadas tabulares (x, y) correspondientes al plano de la página 33 del Acta X (1898) y sus respectivas estimaciones utilizando el plano georeferenciado al sistema CRTM05.

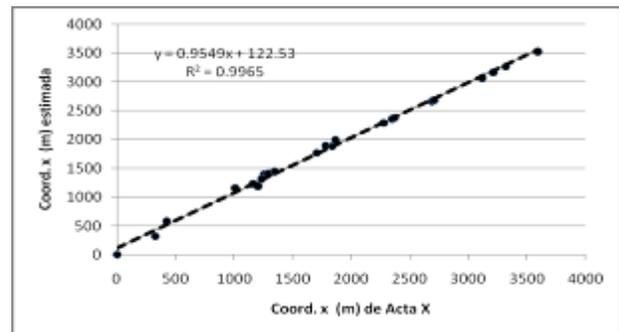
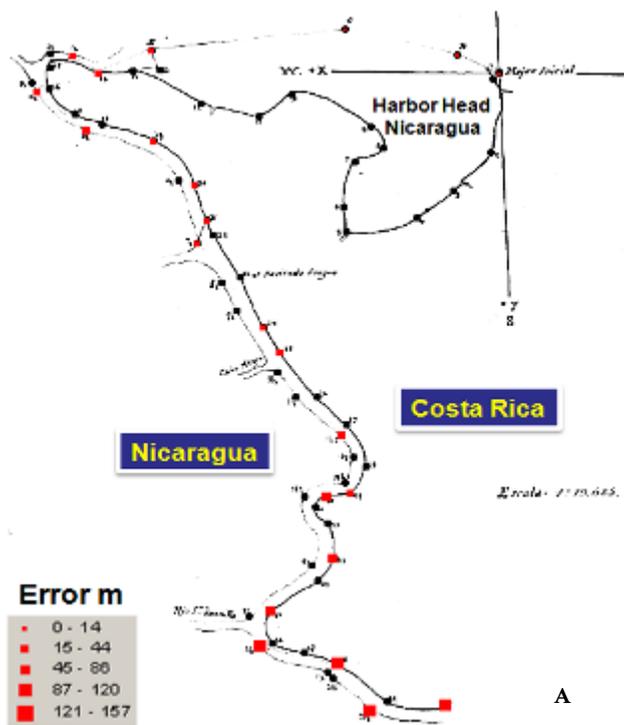
cho punto y el mojón inicial que establece el inicio de la frontera entre Costa Rica y Nicaragua en el mar Caribe. Con el fin de ubicar el centro de la plaza Victoria utilicé el trazado “urbano” del mapa preparado por la US Navy y dirigido a la Comisión para el Canal Nicaragüense en 1899 (Academia de Geografía e Historia de Nicaragua, s.f.). Dicho mapa fue previamente georreferenciado al sistema CRTM05 utilizando la hoja cartográfica Punta Castilla, escala 1:50 000 del Instituto Geográfico Nacional de Costa Rica (IGN-CR, 1970), el programa ArcGIS (www.esri.com) y una transformación lineal (afin) (Fallas, 2011).

Una vez definida la ubicación de la plaza Victoria, procedí a georreferenciar el plano de la página 29 del Acta X utilizando ArcGIS. Este plano muestra la ubicación de la estación astronómica (\triangle), el centro de la plaza Victoria (III), la ubicación del mojón inicial (M) punto inicial de la frontera entre Costa Rica y Nicaragua en el Caribe, así como las estaciones utilizadas en el proceso de triangulación. Otro aspecto importante del plano es que indica la distancia y el acimut entre la plaza Victoria y el mojón inicial (4 715,55 m, 244,8397°); entre el mojón inicial y otro mojón auxiliar (A1) ubicado en la margen opuesta de la laguna Harbor Head (1 139 m, 246,6847°); así co-

mo la distancia entre el centro de la plaza Victoria y una perpendicular del mojón inicial (4 262,28 m).

Una vez georreferenciado el plano de la página 29, procedí a georreferenciar el de la página 33 utilizando los puntos comunes que posee con el plano de la página 29: mojón inicial (M), estaciones B, C, E, P_p y D, así como otros puntos que pueden identificarse en el plano y en la foto aérea de 1961. En este caso, también utilicé ArcGIS y una transformación lineal (afin) para evitar deformar el plano georreferenciado. El error medio cuadrático de ajuste fue de 28 m; lo cual equivale a un desplazamiento de 0,56 mm en un mapa con escala 1:50 000.

Para verificar la exactitud de la transformación del sistema de coordenadas del plano de la página 33 a CRTM05 comparé las distancias y los acimuts registrados en el Acta X, del 2 de marzo de 1898, con los valores estimados en el plano georreferenciado (figura 3). Calculé, para 23 puntos, las coordenadas transformadas, los residuos en dirección este y norte, y el error total: distancia entre el punto transformado y el destino; finalmente, lo comparé con los respectivos valores medidos en el terreno en 1898. La evaluación independiente de los 23 puntos indica que el plano de la página 33 del Acta X fue georreferenciado con un



B

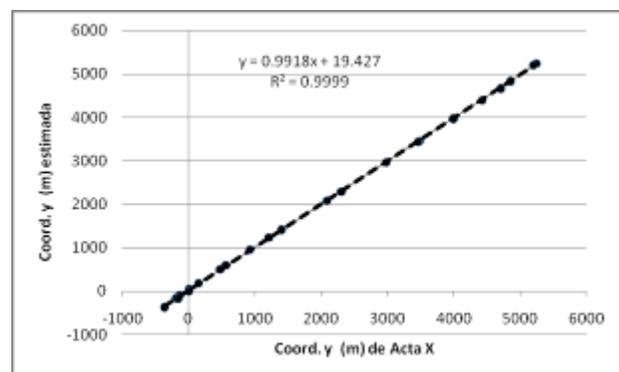


Figura 3. Error de la transformación de coordenadas del plano de la página 33 del Acta X (1898) a CRTM05

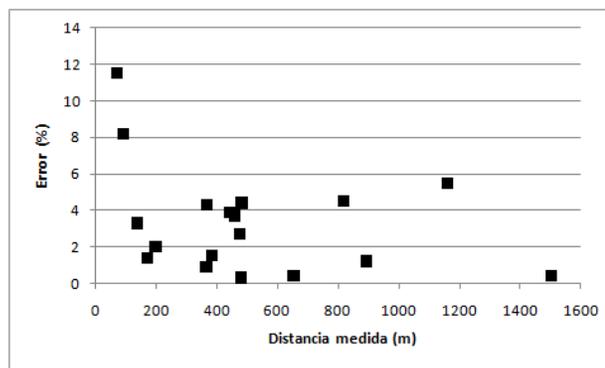
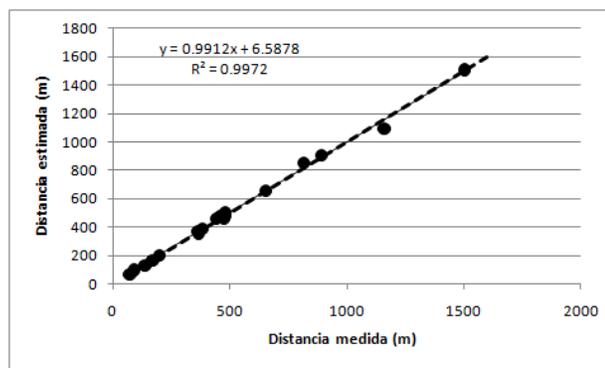
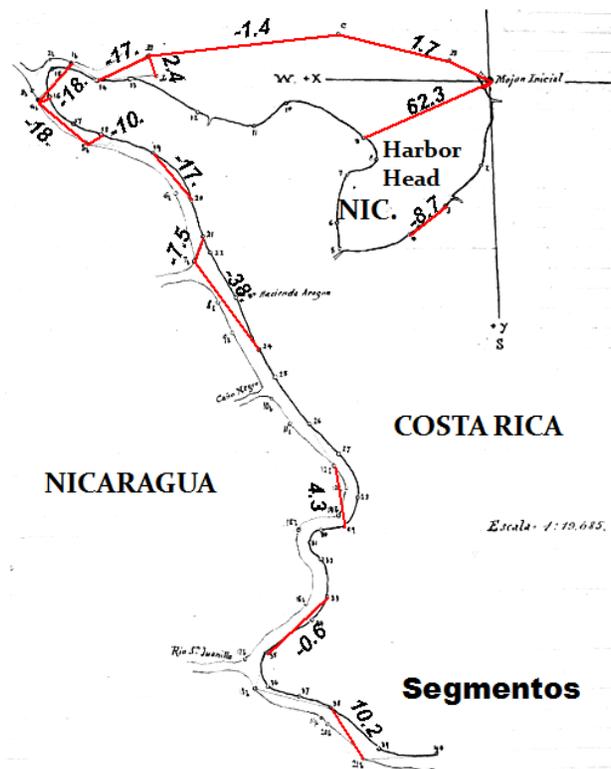


Figura 4. Relación entre la distancia reportada, para 18 segmentos, en el plano de la página 33 del Acta X (1898) y su respectiva estimación utilizando el plano georreferenciado en el sistema CRTM05

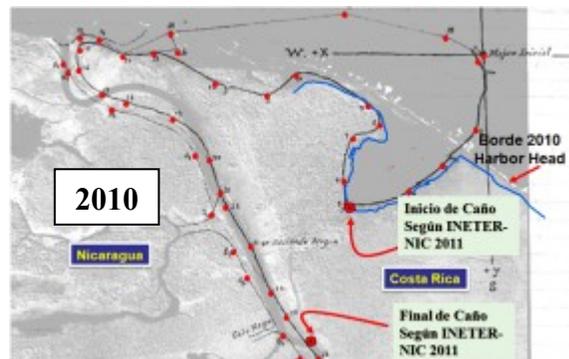
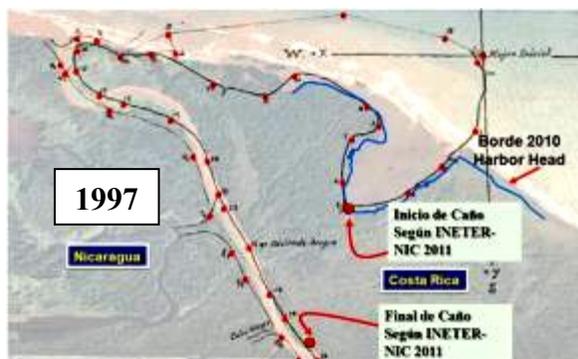
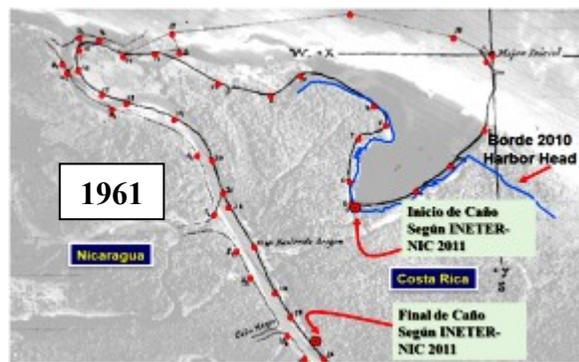
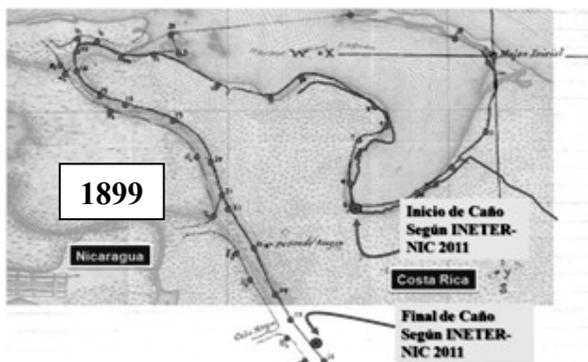


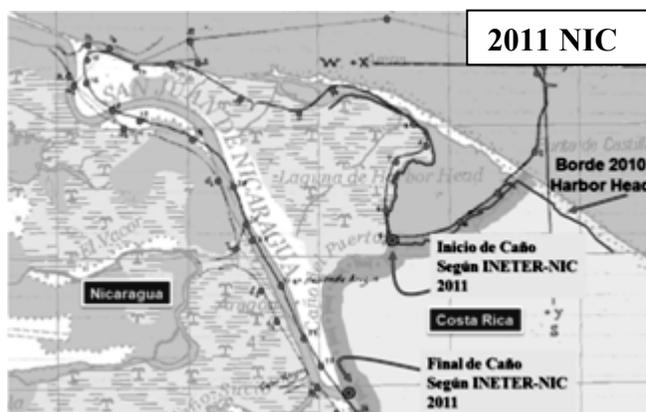
Figura 5. Plano de la página 33 del Acta X (1898) y su relación espacial con el mapa de 1899, fotos aéreas de 1961 y 1997, y la imagen satelital de 2010
 Los puntos indican el levantamiento aprobado por el árbitro Alexander en marzo de 1898. Sistema de referencia CRTM05.



Fuente: IGN-CR



Fuente: Ineter-Nicaragua



Fuente: <http://www.ineter.gob.ni/images/stories/mapas/harbor-head/pdf/topog-50k.pdf>

Figura 6. Plano de la página 33 del Acta X (1898) y su relación espacial con los mapas oficiales de Costa Rica y Nicaragua publicados hasta 2010

Los puntos indican el levantamiento aprobado por el árbitro Alexander en 1898. Obsérvese que el nuevo límite adoptado de manera unilateral por Nicaragua en 2011 no puede sustentarse en el derrotero del Acta X (1898). Sistema de referencia CRTM05.

error medio cuadrático de 85 m; lo cual equivale a un desplazamiento medio de 1,7 mm en un mapa con escala 1:50 000. Los residuos en dirección este (X) oscilaron entre 2 y 160 m; en tanto, para la dirección norte (Y) los valores se encuentran en el ámbito 1 y -31 m (figura 3). En primera instancia, se podría pensar que los errores en sentido este-oeste (X) son muy grandes; sin embargo, los valores superiores a 60 m se encuentran en la sección inferior del plano y no afectan la calidad del ajuste en la sección superior, donde se ubica el área en disputa. El incremento del error en el sentido este-oeste, en la parte inferior del plano, se debe a la dificultad de encontrar puntos de control en dicha sección del plano y a los cambios que ha sufrido el cauce del río San Juan en dicha sección. Adicionalmente calculé, para 18 segmentos, la distancia en el plano georreferenciado y la comparé con la distancia medida en el terreno en 1898. La figura 4 muestra la relación entre el valor reportado en el Acta X para los 18 segmentos y el valor estimado para cada segmento una vez proyectado al sistema CRTM05. El error medio fue de 13 m (3%), con un máximo de 62 m (5,4%).

Los resultados de la evaluación permiten afirmar que la transformación del sistema de referencia utilizado en 1898 al sistema CRTM05 empleado en la cartografía de Costa Rica en 2010 es confiable y, por tanto, el plano de la línea limítrofe trazada en 1898 puede sobreponerse a mapas, fotos e imágenes satelitales recientes en el sistema de referencia CRTM05. Dichos resultados concuerdan con la afirmación de Dörries (2004) de que las mediciones realizadas por la Comisión Alexander se mantienen dentro de ciertos límites de exactitud en esta sección del río San Juan.

La figura 5 permite apreciar la gran similitud geométrica y posicional que existe entre el trazado del levantamiento aprobado por el señor árbitro Alexander en marzo de 1898 y el mapa de 1899, las fotos aéreas de 1961 y 1997, así como de la imagen satelital de 2010. La evidencia es clara en cuanto a que los cambios observados en la margen derecha del río San Juan y en la laguna Harbor Head no justifican la posición de Nicaragua de desconocer los límites plasmados en la cartografía oficial aceptada por Costa Rica y Nicaragua hasta 2010 (figura 6).

En febrero de 2011, el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (Ineter, 2011) publicó un nuevo mapa que incorpora el sector noreste de isla Portillos como parte de su territorio (figura 6). Según el Ineter, el mapa fue actualizado con imágenes satelitales de 2010 y sus límites se sustentan en el Tratado Cañas-Jerez de 1858, el Laudo Cleveland de 1888, la Convención Matus-Pacheco de 1896 y el Laudo N° 1 de E. P. Alexander de 1897, con comprobación de campo –aunque posteriormente indican que el mapa no se cotejó íntegramente en el campo–, y en la sentencia de la Corte Internacional de Justicia de 2009. El Ineter no explica cómo ni cuándo realizó la verificación de campo; tampoco hace referencia a los planos y derroteros levantados en 1898 que sustentan los límites de Costa Rica y Nicaragua citados previamente (páginas 27 y 33 del Acta X, del 2 de marzo de 1898) y que son producto del Laudo N° 2 de E. P. Alexander de 1897.

Los puntos indican el levantamiento aprobado por el árbitro Alexander en 1898. Obsérvese que el

nuevo límite adoptado de manera unilateral por Nicaragua en 2011 no puede sustentarse en el derrotero del Acta X (1898). Sistema de referencia CRTM05.

En síntesis, la evidencia indica que no existe un conflicto limítrofe, ya que Nicaragua nunca ha cuestionado el contenido del Acta X de Alexander, del 2 de marzo de 1898. Por tanto, durante 110 años han aceptado como válida la demarcación realizada en aquella fecha. Además, ambos países publicaron mapas oficiales con una frontera idéntica desde 1970 y, de hecho, la primera edición de la hoja topográfica Punta Castilla de Costa Rica se basó en un mapa compilado por la Dirección General de Cartografía de Nicaragua, a partir de fotos aéreas tomadas en 1961 (Lobo, 2010). Nicaragua ha desconocido los mapas oficiales argumentando que los mismos carecen de comprobación de campo y que además “deben existir cambios en el curso del río San Juan”, aspecto que todavía no ha demostrado con estudios técnicos. Sin embargo, dada la evidencia presentada en el presente estudio, no parece que dichos argumentos tengan un asidero legal ni técnico.

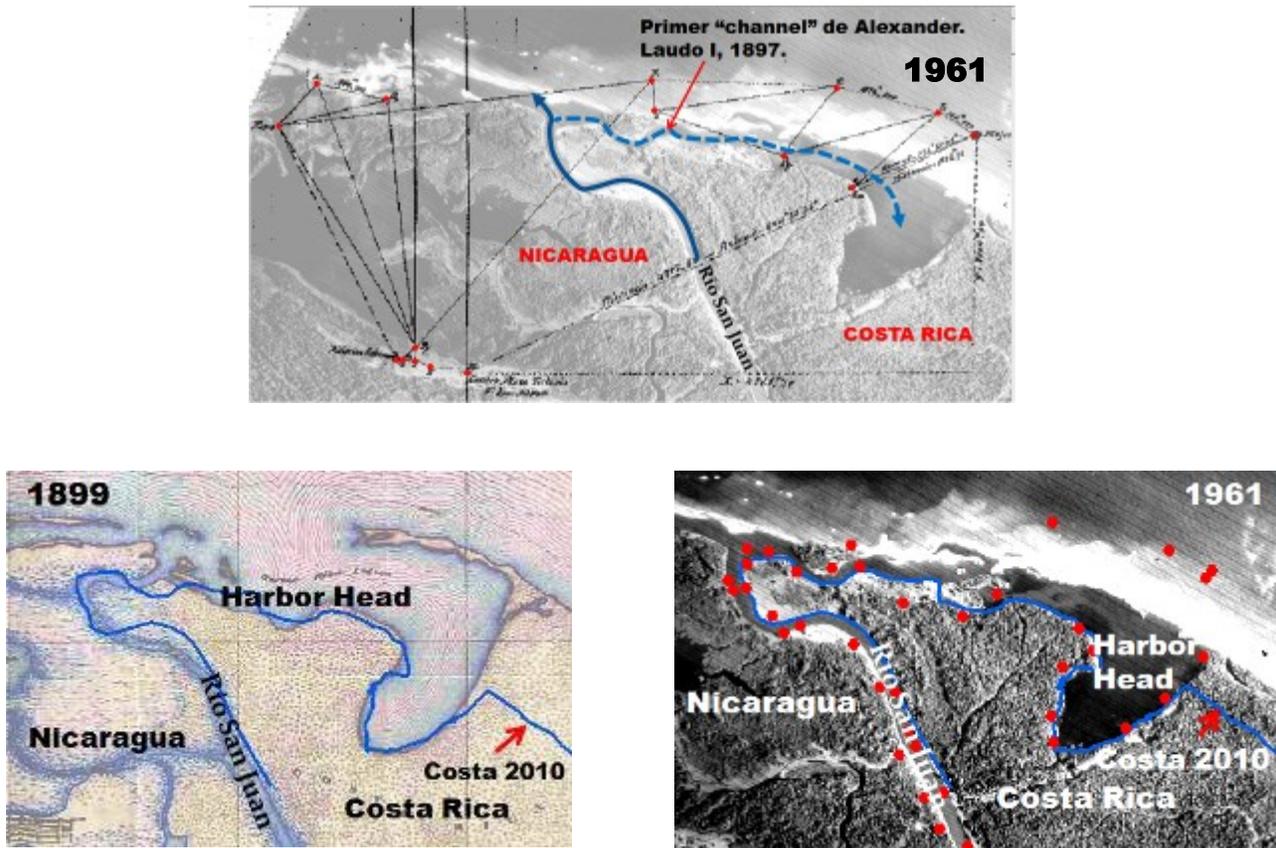


Figura 7. Levantamiento limítrofe aprobado por el árbitro Alexander en 1898 (puntos) y la ubicación del primer *channel* mencionado en el Primer Laudo de Alexander de 1897

Al 2010, el mojón inicial, así como los puntos 1 y 2 del levantamiento realizado en 1898 se encontraban en el mar Caribe. El mapa de 1899 muestra el área de costa erosionada por el mar Caribe en punta Castilla.

El levantamiento topográfico y los derroteros que le acompañan permiten visualizar y comprobar en imágenes de alta resolución de 2010 la ubicación del primer *channel* (caño) del Laudo N° 1 de Alexander de 1897. Esta “expresión visual” de la descripción literal de los límites facilita la interpretación del texto del tratado limítrofe de 1858, el Laudo Cleveland de 1888 y el Primer Laudo Alexander de 1897, así como el límite aprobado por el árbitro Alexander en la página 31 del Acta X de 1898, como se aprecia a continuación: “...en ejecución del Laudo emitido por el señor ingeniero árbitro, con fecha 20 de diciembre de 1897, se procedió a la *medición de la línea fronteriza*, según está descrito en el Laudo del 30 de septiembre de 1897, se comenzó en el mojón inicial, se continuó alrededor del Harbor Head, se subió por el primer caño que se encontró hasta el río propio y se llegó por este lado hasta la estaca número 40, inmediato al nacimiento del río Taura” (Acta X, p. 31) (resaltado propio).

Otro aspecto que aclara el estudio es la localización del primer *channel* al cual hace referencia Alexander en su Primer Laudo de 1897. La figura 7 muestra lo que hoy conocemos como laguna de Los Portillos-Isa Portillos en 1899 y en 1961. En el primer mapa (1899) es evidente donde se encontraba el *channel* que menciona Alexander en 1897, en tanto que en el segundo (1961) solo se observa el remanente del mismo.

La transformación del derrotero que describe la ubicación de la línea fronteriza levantada en 1898 (Acta X, pp. 29-37) al sistema CRTM05, utilizada por la cartografía oficial de Costa Rica en 2010, permite afirmar que la línea fronteriza no ha cambiado significativamente en los últimos 110 años. Esta evidencia se contrapone al argumento de Nicaragua, el cual puede resumirse en la posición de Carlos Argüello (2011): “Ahora que empezamos los trabajos de dragado, anunciados desde hace cinco años, y cuyo impacto ambiental fue documentado, nos dimos cuenta que los mapas nuestros, sin revisarse desde hace 110 años –todos los mapas nuestros dicen que no han sido verificados por tierra– y a la luz del Laudo Alexander, entonces la frontera no puede estar siguiendo lo que Costa Rica pretende, porque contradice el laudo citado”. La evidencia presentada en el presente estudio apoya la posición de Costa Rica y descalifica las afirmaciones de Argüello. En síntesis, no existe un diferendo limítrofe sino más bien una decisión unilateral de Nicaragua de modificar la línea fronteriza.

Referencias bibliográficas

Academia de Geografía e Historia de Nicaragua. (s.f.). Mapa de Greytown Harbour 1899. En Mapas antiguos y fotos recientes de la bahía de San Juan de Nicaragua (Greytown Harbor-Harbor Head). Disponible en http://www.lagosdenicaragua.org.ni/index.php?option=com-docman&task=doc_download&gid=177&Itemid=53

Argüello, C. (2011, 11 enero). Entrevista de Pablo Gámez para radio Nederland. La frontera no puede estar siguiendo lo que Costa Rica pretende. Disponible en <http://www.rnw.nl/espanol/video/cij-costa-rica-vs-nicaragua>; <http://sites.rnw.nl/documento/Arguello.pdf>.

Dörries, E. (2004). Alexander: la extracción de la información. *Uniciencia*. Costa Rica.

Fallas, J. (2011). Georeferenciación de archivos raster y ajuste geoespacial de capas vectoriales con ArcGIS. *GeoAmbiente*. Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional.

Gobierno de Costa Rica. (2007). Decreto N° 33797-MJ-MOPT. *La Gaceta* N° 108, 6 de junio de 2007.

Instituto Geográfico Nacional de Costa Rica (IGN-CR). (1970). Hoja Punta Castilla (número 3448). IGNCR.

Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (Ineter). (2011). *Declaración de Ineter sobre los nuevos mapas*. Disponible en <http://www.conamornicaragua.org.ni/>

Lobo, M. (2010, 4 de octubre). Trazo de Límite Internacional Costa Rica–Nicaragua contenido en Google Earth (Comunicado de prensa del Instituto Geográfico Nacional). *Costa Rica Hoy*. Disponible en <http://costaricahoy.info/opinion/foro/comunicado-de-prensa-instituto-geografico-nacional/72811/>

Organización de Naciones Unidas (Onu). (s.f.). Award of the President of the United States in Regard to the Validity of the Treaty of Limits between Costa Rica and Nicaragua of 15 July 1858, Decision of 22 March, 1888, en United Nations *Reports of International Arbitral Awards*, vol. XXVIII. Disponible en http://untreaty.un.org/cod/riaa/cases/vol_XXVIII/189-236.pdf.

Versión en español: <http://www.manfut.org/cronologia/cleveland.html>

Organización de Naciones Unidas (Onu). (2007a). *Reports of International Arbitral Awards. First award under the Convention between Costa Rica and Nicaragua of 8 April 1896 for the demarcation of the boundary between the two Republics, 30 September 1897* (Vol. XXVIII) pp. 215-222. Disponible en http://untreaty.un.org/cod/riaa/cases/vol_XXVIII/215-222.pdf

Organización de Naciones Unidas (Onu). (2007b). *Reports of International Arbitral Awards. Second award under the Convention between Costa Rica and Nicaragua of 8 April 1896 for the demarcation of the boundary between the two Republics 30 September 1897* (Vol. XXVIII) pp.223-225. http://untreaty.un.org/cod/riaa/cases/vol_XXVIII/223-225.pdf

[La versión ampliada de este artículo está disponible en http://www.edeca.una.ac.cr/files/jfallas56/2011/levantamiento1898_carto2010CR_jfallas2011.pdf]