

Informe final* del Proyecto QE006

Evaluación del estado de conservación, amenazas y comercio internacional de las especies del género *Ctenosaura* bajo los criterios de la Res. Conf. 9.24 (Rev. CoP17) de la CITES*

Responsable:	Dr. Víctor Hugo Reynoso
Institución:	Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México
Dirección:	Circuito exterior, Ciudad Universitaria, Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México
Correo electrónico:	vreynoso@ib.unam.mx
Teléfono:	55 5622 9153 y 55 5622 8222 ext. 47865
Fecha de inicio:	15 de Noviembre de 2018
Fecha de término:	16 de Junio de 2021
Principales resultados:	Informe final, Cartografía, Fichas.
Forma de citar** el informe final y otros resultados:	Reynoso, V. H., Vázquez-Cruz, M. L., y Arroyo-Rivera C. R. 2021. Evaluación del estado de conservación, amenazas y comercio internacional de las especies del género <i>Ctenosaura</i> bajo los criterios de la Res. Conf. 9.24 (Rev. CoP17) de la CITES. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Biología. Informe final SNIB-CONABIO, proyecto No. QE006. Ciudad de México

Resumen:

Debido a la falta de información para la correcta normatividad de las especies, resulta fundamental realizar estudios sobre las amenazas y riesgos que corren las especies de nuestro país a fin de establecer las pautas necesarias para su manejo y las normas necesarias para su protección. Realizar la evaluación sobre la pertinencia de incluir especies que se encuentran en riesgo en el apéndice II de CITES es primordial para evitar que su comercio internacional las amenace o las coloque en peligro de extinción.

Las iguanas del género *Ctenosaura* pertenecen a la familia Iguanidae. Este género está conformado por 18 especies nativas de México y América Central de las cuales 10 son endémicas a México. Las especies del género *Ctenosaura* poseen escamas espinosas y quilladas distintivas en sus largas colas, una característica que las ha hecho atractivas para su comercialización. Tienen alta demanda dentro del comercio internacional de mascotas exóticas debido a su rareza, tamaño y su relativa docilidad. Sin embargo, las poblaciones silvestres han experimentado grandes disminuciones y sus rangos geográficos son altamente restrictivos. Sólo cuatro de las 18 especies de *Ctenosaura* se incluyeron en el Apéndice II en la CoP 15 en Doha, Qatar, 2010 (*C. bakeri*, *C. oedirhina*, *C. melanosterna* y *C. palearis*) para regular el comercio internacional y combatir su tráfico ilegal.

Existe comercio internacional legal para varias especies y el tráfico ilegal ocurre para la mayoría, si no es que para todas las especies del género. Mientras que existen guías de identificación para iguanas de cola espinosa, la identificación es bastante difícil para personas no profesionales e incluso para los expertos. Esto constituye un problema para los oficiales de aduanas y de aplicación de la ley para cumplir correctamente con la inspección e identificación de cargamentos de iguanas, pudiendo existir confusión en la determinación de cuales especies se indican en permisos y cuales se están traficando en realidad.

Incluir al género completo en el Apéndice II sería esencial para controlar el comercio internacional y asegurar que éste no se convierta en una causa directa de la extinción de estas especies y al mismo tiempo funcionaría como una valiosa herramienta para combatir el tráfico ilegal de iguanas en peligro crítico.

Es necesario realizar una evaluación exhaustiva y actualizada sobre los registros del comercio y tráfico nacional e internacional, así como las principales amenazas y riesgos que presentan las especies del género *Ctenosaura*. Toda esta información brindará el soporte suficiente para determinar si es pertinente incluir a todas las especies del género en el Apéndice II de CITES y de proponer o mantener un cambio de estatus en la NOM-059-SEMARNAT-2010 y en la IUCN.

Nuestro laboratorio ha trabajado por más de 20 años con especies de la familia Iguanidae, por lo que se tiene suficiente experiencia en relación al grupo en cuestión. Se han llevado a cabo diversos temas de investigación para las especies del género *Ctenosaura* y se cuenta con algunos datos poblacionales, de distribución y de conservación, entre otros. Por otra parte, el responsable de proyecto ha participado en la evaluación de especies de otros reptiles importantes mediante el uso de las fichas MER y los criterios de evaluación de la IUCN, también ha participado intensivamente en los programas de evaluación de iguanas y cocodrilos ante CITES.

Consideramos esta propuesta una oportunidad idónea para trabajar en conjunto con CONABIO y obtener los mejores resultados para una rigurosa evaluación de las especies del género *Ctenosaura* que aún no se encuentren dentro del apéndice II de CITES, siempre con la finalidad de generar una correcta normatividad en el uso de las especies.

- * El presente documento no necesariamente contiene los principales resultados del proyecto correspondiente o la descripción de los mismos. Los proyectos apoyados por la CONABIO así como información adicional sobre ellos, pueden consultarse en www.conabio.gob.mx
- ** El usuario tiene la obligación, de conformidad con el artículo 57 de la LFDA, de citar a los autores de obras individuales, así como a los compiladores. De manera que deberán citarse todos los responsables de los proyectos, que proveyeron datos, así como a la CONABIO como depositaria, compiladora y proveedora de la información. En su caso, el usuario deberá obtener del proveedor la información complementaria sobre la autoría específica de los datos.

Conservación y manejo adecuado de las poblaciones de las iguanas de cola espinosa *Cachrix* y *Ctenosaura* para garantizar un aprovechamiento sustentable con beneficio a las poblaciones

Víctor Hugo Reynoso, Lourdes Vázquez Cruz, Mauricio Tepos y Gabriela Díaz Juárez.
Departamento de Zoología, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México.
vrey noso@ib.unam.mx

Parte 1

Estatus de conservación de las especies de iguanas de cola espinosa y su legislación

De las 18 especies de iguanas de cola espinosa, 16 corresponden al género *Ctenosaura* y dos al recientemente resurrecto género *Cachrix*. De esas especies, 11 son mexicanas de las que solamente 7 se encuentran enlistadas en alguna categoría de protección en la Norma Oficial Mexicana (Cuadro 1). Sin embargo, todas las especies de estos dos géneros tanto nacionales como extranjeras están comprendidas en el Apéndice II de CITES. Las especies *C. acanthura* y *C. hemilopha* se enlistan como en Protección especial (Pr); *C. clarki* (enlistada como *Enyalosaurus clarki*), *C. pectinata*, *C. oaxacana* y *C. similis* como Amenazadas (A) y *Cachrix defensor* (enlistada como *Ctenosaura defensor*) como en peligro de extinción (P). Debido a recientes cambios taxonómicos la NOM se encuentra muy incompleta, por lo que una reciente evaluación de las especies de *Cachrix* y *Ctenosaura* mexicanas mediante la aplicación del Método de Evaluación de Riesgo (MER) se sugiere que algunas especies deben ser consideradas con un estatus diferente (Cuadro 1). Las iguanas amenazadas y en peligro de extinción merecen especial atención, ya que los programas de uso sustentable deben ser muy cuidadosamente planeados, llevados a cabo y evaluados, para evitar el declive declinación de las poblaciones naturales. Mas allá de la reglamentación gubernamental, establecida en la Ley General de Vida Silvestre, que debe seguirse al pie de la letra, debe existir una conciencia especial en los productores y comercializadores en generar datos e información correcta, ya que en sus manos estará la supervivencia de estas especies a futuro.

Las especies Amenazadas y en Peligro de Extinción deben de cumplir de manera estricta la normatividad para su uso de manera sustentable. Los planes de manejo ya sea de crianza en cautiverio o de explotación en su medio natural mediante el rancheo, deben ser correctamente evaluados por las autoridades correspondientes de la Dirección General de Vida Silvestre en SEMARNAT y al estar las 18 especies del género *Ctenosaura* incluidas en CITES, sus tasas de aprovechamiento para exportación serán revisadas por expertos de las oficinas CITES de CONABIO, y del mismo modo deben de cumplir con los criterios de sostenibilidad. La producción va a estar regulada por el órgano máximo que es Ley General de Vida Silvestre. Esta

Ley establece de manera clara los puntos que se deben cumplir para que se autorice la explotación de un recurso en especial (Cuadro 2). El **Artículo 82** de la Ley establece que en cualquiera que sea la especie e independientemente de su categorización en la NOM-059, solamente se podrá realizar aprovechamiento extractivo de la vida silvestre, en las condiciones de sustentabilidad prescritas. Esto es, que se requiere de una autorización previa de la Secretaría, en la que se establecerá la tasa de aprovechamiento y su temporalidad, para actividades de colecta, captura o caza con fines de reproducción, restauración, recuperación, repoblación, reintroducción, translocación, económicos o educación ambiental (Artículo 83). Para esto, se debe demostrar que las tasas de extracción solicitadas son menores a las que requiere la población natural para renovación natural, después del aprovechamiento; que los ejemplares a aprovechar son producto de reproducción controlada en confinamiento, que el aprovechamiento de partes o derivados de ejemplares no tendrá efectos negativos sobre las poblaciones, no impactará negativamente en los ciclos de vida naturales, que la manipulación no dañe permanentemente al ejemplar (Artículo 84). Por ejemplo, el sacrificio de ejemplares debe estar sujeto a la NOM-033-SAGZOO-2014 sobre los métodos para dar muerte a los animales domésticos y silvestres.

El aprovechamiento de especies enlistadas como especies en Riesgo, esto es, las especies enlistadas en la NOM 059 como Amenazadas, en Peligro de Extinción o con Protección Especial, deben seguir reglas más específicas y cumplir elementos más estrictos para la autorización del aprovechamiento. El Artículo 85 establece que solamente se autorizará el aprovechamiento de ejemplares de especies en riesgo cuando la prioridad sea la recolecta y captura para actividades de restauración, repoblamiento, reintroducción e investigación científica. Este mismo artículo establece que cualquier otro aprovechamiento de poblaciones en Peligro de Extinción y Amenazadas debe cumplir con los lineamientos expuestos en el Artículo 84, pero además, se debe contribuir con el desarrollo de las poblaciones naturales de las especies aprovechadas con programas, proyectos o acciones avalados por la Secretaría, o se debe contribuir con el desarrollo de poblaciones mediante reproducción controlada, aun cuando el aprovechamiento es de ejemplares de vida libre. Estos dos lineamientos son sumamente importantes para el mantenimiento de las poblaciones naturales, ya que, sin ellos, la recuperación de especies de por sí ya Amenazadas o En Peligro de Extinción, no podrán recuperarse para finalmente poder desenlistarse de la NOM 059.

El artículo 87 establece que el aprovechamiento solo se podrá autorizar a los propietarios o legítimos poseedores de los predios donde se distribuya la vida silvestre con base en el plan de manejo aprobado, en función de los resultados de los estudios de poblaciones o muestreos, en el caso de ejemplares en vida libre o de los inventarios presentados cuando se trate de ejemplares en confinamiento, tomando en consideración además otras informaciones de que disponga la Secretaría, incluida la relativa a los ciclos biológicos de la especie. Para el aprovechamiento de ejemplares de especies silvestres en riesgo se deberá contar con criterios,

medidas y acciones para la reproducción controlada y el desarrollo de dicha población en su hábitat natural incluidos en el plan de manejo, adicionalmente a lo dispuesto en el artículo 40 de la presente Ley que indica la manera como se deben integrar los expedientes para registrar un predio como Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre. También se debe contar con medidas y acciones específicas para contrarrestar los factores que han llevado a disminuir sus poblaciones o deteriorar sus hábitats. Finalmente debe haber un estudio de la población con estimaciones rigurosas de las tasas de natalidad y mortalidad y un muestreo. En el caso de poblaciones en peligro de extinción o amenazadas, tanto el estudio como el plan de manejo, deberán estar avalados por una persona física o moral especializada y reconocida, de conformidad con lo establecido en el reglamento. Tratándose de poblaciones en peligro de extinción, el plan de manejo y el estudio deberán realizarse, además, de conformidad con los términos de referencia desarrollados por el Consejo Técnico Consultivo Nacional para la Conservación y Aprovechamiento Sustentable de la Vida Silvestre.

Cuadro 1. Lista de especies de iguanas del género *Cachrix* y *Ctenosauta* que están en la NOM 059 (SEMARNAT, 2010). Los nombres comunes fueron simplificados para fines del escrito. A = Amenazada; P = En Peligro de Extinción; Pr = Protección Especial. MEX = México; GUA = Guatemala; CA = Centro América.

Especie	Categoría en la NOM	Revisión MER Reynoso et al. 2021	Nombre común	Nivel de endemismo
<i>Cachrix</i>				
<i>C. defensor</i>	P		Iguana espinosa de Yucatán	MEX-GUA
<i>C. alfredschmidti</i>		A	Iguana espinosa de Campeche	MEX
<i>Ctenosaura</i>				
<i>C. acanthura</i>	Pr	A	iguana espinosa del Golfo	MEX-GUA
<i>C. conspicuosa</i>		A	Iguana espinosa de San Esteban	MEX
<i>C. clarki</i>	A	P	Iguana espinosa del Balsas	MEX
<i>C. hemilopha</i>	Pr	Pr	Iguana espinosa de Baja California	MEX
<i>C. macrolopha</i>		A	Iguana espinosa de Sonora	MEX
<i>C. nolascensis</i>		A	Iguana espinosa de Nolasco	MEX
<i>C. oaxacana</i>	A		Iguana espinosa de Oaxaca	MEX
<i>C. pectinata</i>	A	A	Iguana negra mexicana	MEX
<i>C. similis</i>	A	A	Iguana espinosa rayada	MEX-CA

Cuadro 2. Especificaciones para el aprovechamiento extractivo de especies de vida libre y de especies en riesgo: Amenazadas, en Peligro de Extinción o con Protección Especial, de acuerdo con la Legislación Mexicana. Ley General de Vida Silvestre (nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 3 de julio de 2000, texto vigente). Última reforma publicada DOF 19-01-2018.

Artículos referentes a las especies amenazadas y en peligro de extinción enmarcados en la Ley General de Vida Silvestre.

Artículo 47 Bis 3. La Secretaría negará la autorización de aprovechamiento, o registro de la Unidad de Manejo para la Conservación de Vida Silvestre, cuando:

I. Se solicite la creación de Unidades de Manejo que involucre el aprovechamiento extractivo de especies **en peligro de extinción o amenazadas** dentro del polígono de áreas naturales protegidas, excepto en aquellos casos en que el plan de manejo del área natural protegida así lo permita

Artículos de aprovechamiento que incluyen de manera general a las especies de vida silvestre, incluyendo las amenazadas, en peligro de extinción o con protección especial enlistadas en la NOM 059.

**Título VII aprovechamiento sustentable de la vida silvestre
Capítulo I aprovechamiento extractivo**

Artículo 82. Solamente se podrá realizar aprovechamiento extractivo de la vida silvestre, en las condiciones de sustentabilidad prescritas en los siguientes artículos.

Artículo 83. El aprovechamiento extractivo de ejemplares, partes y derivados de la vida silvestre requiere de una autorización previa de la Secretaría, en la que se establecerá la tasa de aprovechamiento y su temporalidad. Los aprovechamientos a que se refiere el párrafo anterior, podrán autorizarse para actividades de colecta, captura o caza con fines de reproducción, restauración, recuperación, repoblación, reintroducción, traslocación, económicos o educación ambiental.

Artículo 84. Al solicitar la autorización para llevar a cabo el aprovechamiento extractivo sobre especies silvestres que se distribuyen de manera natural en el territorio nacional, los interesados deberán demostrar:

- a) Que las tasas solicitadas son menores a la de renovación natural de las poblaciones sujetas a aprovechamiento, en el caso de ejemplares de especies silvestres en vida libre.
- b) Que son producto de reproducción controlada, en el caso de ejemplares de la vida silvestre en confinamiento.
- c) Que éste no tendrá efectos negativos sobre las poblaciones y no modificará el ciclo de vida del ejemplar, en el caso de aprovechamiento de partes de ejemplares.
- d) Que éste no tendrá efectos negativos sobre las poblaciones, ni existirá manipulación que dañe permanentemente al ejemplar, en el caso de derivados de ejemplares. La autorización para el aprovechamiento de ejemplares incluirá el aprovechamiento de sus partes y derivados, de conformidad con lo establecido en el reglamento y las normas oficiales mexicanas que para tal efecto se expidan.

Artículos son referentes a las especies que se encuentran en riesgo, incluyendo las amenazadas, en peligro de extinción y con protección especial

Artículo 85. Solamente se podrá autorizar el aprovechamiento de ejemplares de **especies en riesgo** cuando se dé **prioridad** a la colecta y captura para actividades de restauración, repoblamiento, reintroducción e investigación científica. Cualquier otro aprovechamiento, en el caso de poblaciones **en peligro de extinción y amenazadas**, estará sujeto a **que se demuestre que se ha cumplido** satisfactoriamente **cualesquiera de las cuatro actividades mencionadas anteriormente y que:**

- a) Los ejemplares sean producto de la reproducción controlada, que a su vez contribuya con el desarrollo de poblaciones en programas, proyectos o acciones avalados por la Secretaría cuando éstos existan, en el caso de ejemplares en confinamiento.

- b) Contribuya con el desarrollo de poblaciones mediante reproducción controlada, en el caso de ejemplares de especies silvestres en vida libre.

Artículo 87. La autorización para llevar a cabo el aprovechamiento se podrá autorizar a los propietarios o legítimos poseedores de los predios donde se distribuya la vida silvestre con base en el plan de manejo aprobado, en función de los resultados de los estudios de poblaciones o muestreos, en el caso de ejemplares en vida libre o de los inventarios presentados cuando se trate de ejemplares en confinamiento, tomando en consideración además otras informaciones de que disponga la Secretaría, incluida la relativa a los ciclos biológicos. Para el aprovechamiento de ejemplares **de especies silvestres en riesgo** se deberá contar con:

- a) Criterios, medidas y acciones para la reproducción controlada y el desarrollo de dicha población en su hábitat natural incluidos en el plan de manejo, adicionalmente a lo dispuesto en el artículo 40 de la presente Ley.
- b) Medidas y acciones específicas para contrarrestar los factores que han llevado a disminuir sus poblaciones o deteriorar sus hábitats.
- c) Un estudio de la población que contenga estimaciones rigurosas de las tasas de natalidad y mortalidad y un muestreo. En el caso de poblaciones en peligro de extinción o amenazadas, tanto el estudio como el plan de manejo, deberán estar avalados por una persona física o moral especializada y reconocida, de conformidad con lo establecido en el reglamento. Tratándose de poblaciones en peligro de extinción, el plan de manejo y el estudio deberán realizarse, además, de conformidad con los términos de referencia desarrollados por el Consejo.

Artículo 88. No se otorgarán autorizaciones si el aprovechamiento extractivo pudiera tener consecuencias negativas sobre las respectivas poblaciones, el desarrollo de los eventos biológicos, las demás especies que ahí se distribuyan y los hábitats y se dejarán sin efectos las que se hubieren otorgado, cuando se generaran tales consecuencias.

Artículo 122. Infracciones a lo establecido en esta Ley:

IV. Realizar actividades de aprovechamiento con ejemplares o poblaciones de especies **silvestres en peligro de extinción** o extintas en el medio silvestre, sin contar con la autorización correspondiente.

Finalmente, para la protección de la especie a largo plazo, el Artículo 88 indica que no se otorgarán autorizaciones si el aprovechamiento extractivo pudiera tener consecuencias negativas sobre las poblaciones naturales, el desarrollo de los eventos biológicos, las demás especies que ahí se distribuyan y los hábitats. Este artículo además establece que se dejarán sin efectos las autorizaciones que se hubieren otorgado, cuando se generaran tales consecuencias. Realizar actividades de aprovechamiento con ejemplares o poblaciones de especies silvestres en Peligro de Extinción o Extintas en el medio silvestre, sin contar con la autorización correspondiente será sujeto a infracciones de acuerdo en lo establecido en la Ley (Artículo 122). El Artículo 47 Bis 3 establece que No se expedirá ninguna autorización de aprovechamiento o registro de Unidad Manejo para la Conservación de Vida Silvestre, si el aprovechamiento extractivo de especies en Peligro de Extinción o Amenazadas sea dentro del polígono de áreas naturales protegidas, excepto cuando el plan de manejo del área natural protegida así lo permita.

Lecturas recomendadas

LGVS. 2000. Ley General De Vida Silvestre. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, Secretaría General, Secretaría de Servicios Parlamentarios. Gobierno de México. Diario Oficial de la Federación, 3 de julio de 2000. Última Reforma, DOF 19-01-2018.

- Malone, C. L., V. H. Reynoso Rosales, L. Buckley. 2017. Never judge an iguana by its spines: Systematics of the Yucatan spiny tailed iguana, *Ctenosaura defensor* (Cope, 1866). *Molecular Phylogenetics and Evolution* 115: 27–39.
- NOM-033-SAG/ZOO-2014, Norma Oficial Mexicana. Métodos para dar muerte a los animales domésticos y silvestres. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Diario Oficial, Miércoles 26 de agosto de 2015 (Segunda Sección).
- NOM-059-SEMARNAT-2010. Norma Oficial Mexicana. Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación 30 de diciembre de 2010.
- Reynoso, V. H., M. L. Vázquez Cruz, E. A. López Esquivel y G. Díaz Juárez (coord.). 2019. Inclusión del género *Ctenosaura* (18 especies) en el Apéndice II de la CITES. Convención Sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres. XVII Reunión de la Conferencia de las Partes, Colombo (Sri Lanka), 23 de mayo - 3 de junio de 2019. Consideración de propuestas de enmienda de los Apéndices I y II. https://cites.org/sites/default/files/eng/cop/18/prop/020119_d/S-CoP18-Prop_draft-Ctenosaura-spp.pdf
- Reynoso, V. H., M. L. Vázquez Cruz, E. A. y C. Arroyo Rivera, 2021. Revisión de la categorización de las especies del género *Ctenosaura* en la NOM-059 a partir del Método de Evaluación del Riesgo de extinción de las especies silvestres en México (MER). Informe del proyecto QE006. Comisión Nacional Para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

Parte 2

Recomendaciones para el manejo en cautiverio de iguanas de cola espinosa

Debe llevarse a cabo en granjas las cuales deben contar con instalaciones adecuadas y con los permisos correspondientes ante el INE, DGVS, SEMARNAT y avaladas por la oficina CITES en CONABIO. Los sistemas de producción deben estar avalados por las mismas instituciones y estos deben asegurar que no perjudiquen las poblaciones naturales en cuanto extracción. Para las especies en Peligro de Extinción como amenazadas requieren que la producción sea cautelosa y que el ciclo de vida sea completo dentro del sistema de producción. Los procesos deben cumplir los requerimientos correspondientes que garanticen el bienestar de las poblaciones naturales y el bienestar de los animales durante su comercialización. Se requerirán los permisos correspondientes para la obtención del pie de cría. Sin embargo, la comercialización solo puede llevarse a cabo a partir de la segunda generación, ya que los ejemplares extraídos del medio pertenecen al estado y no puede ejercerse comercialización sobre organismos colectados directamente del campo en este esquema.

Las iguanas parentales de la granja deben ser capturadas del medio circundante a la granja ya sea de forma manual o con trampas. Para la colecta manual se recomienda el uso de gazas de cuerda, alambre o hilo pesca grueso amarrados a la punta de una garrocha que sirve para acercar la gaza al cuello del animal y atraparlo de entre las ramas de los árboles. Como trampas se pueden utilizar trampas tipo Tomahawk con cebo de fruta (jitomate o mango) que deben ser colocadas cercanas a los sitios donde las iguanas usualmente se asolean. Debe tenerse cuidado de no dejarse las iguanas mucho tiempo al sol para evitar que mueran por sobrecalentamiento por lo que las trampas deben revisarse continuamente. Las iguanas arborícolas como *C. alfredschmidti*, *C. defensor* o *C. clarki* pueden ser extraídas de los agujeros de los árboles donde habitan con la ayuda de una machete o hacha. Este procedimiento debe hacerse con cuidado para evitar sean lastimadas. El manejo de las iguanas debe hacerse cautelosamente para evitar heridas ya que las especies grandes tienden a ser muy agresivas y muerden, rasguñan con las patas posteriores o dan coletazos con su cola espinosa. La mordida es particularmente peligrosa pudiendo causar heridas graves. La manipulación de la iguana debe hacerse sujetándolas simultáneamente del cuello con una mano y de las patas traseras mas la cola con la otra, prácticamente inmovilizándolas. Las iguanas dejan de luchar rápidamente, pero escapan al menor indicio de libertad, por lo que se deben sostener firmemente todo el tiempo. El transporte debe hacerse en sacos de lona o costales de manera individual que puedan respirar fácilmente y deben alejarse del calor, pues puede matarlas. A cada costal se le debe colocar buenos identificadores para que las marcas permanentes se pongan en las instalaciones.

En el programa de captura de iguanas del medio debe estar especificado el número de iguanas que se capturarán. Cada iguana debe estar acompañada de su ficha indicando su longitud LHC que va desde la punta de la trompa hasta la hendidura cloacal a la altura de la pelvis, el estadio (cría, juvenil o adulto), el sexo, el sitio de captura y la fecha, por lo menos y deben ser fotografiadas marcadas dorsal y ventralmente. Los machos se distinguen fácilmente por su cresta dorsal, hemipenes abultados a los lados de la cola y los poros femorales prominentes. Para iniciar un cultivo en cautiverio se recomienda recolectar solamente adultos ya que serán reproductivos de inmediato. En el informe, el número de capturas deberá coincidir con el número de capturas autorizadas y el informe debe incluir las fichas con fotos de cada ejemplar perfectamente identificadas para fines de verificación por las autoridades y para poder ser liberadas en el intercambio de sangre que requerirá la granja en su mismo sitio de captura. Es importante se lleve una bitácora de cada uno de los individuos capturados en el medio, así como de los reproductores seleccionados dentro del encierro y preferentemente de cada individuo nacido.

Todos los ejemplares parentales extraídos del campo deben contar con una marca permanente que los identifique como tales. Para el marcado de iguanas que provienen del medio silvestre, se recomienda el uso de marcas permanentes con un identificador particular y diferente a las que han nacido en las instalaciones, de preferencia chips electrónicos colocados intramuscularmente en el dorso cerca de la línea media o en la parte anterior de la cola. Aun no existe un acuerdo del mejor sistema de marcado de iguanas en explotación intensiva (e.g. para alimento). Se ha utilizado exitosamente el uso de chaquiras cocidas en la cresta dorsal de adultos con hilo de nylon o alambroón de cobre. La numeración debe seguir la numeración implementada de acuerdo en los colores disponibles siguiendo la escala cromática de rojo a violeta; donde el negro es el cero, el violeta el 1 y el rojo el 10. Se ha sugerido marcaciones a través del corte (o la quema) de las escamas de la cresta, en las iguanas mas pequeñas con el corte de las escamas de la cola y en con el tatuaje caliente, que eventualmente desaparece y daña la apariencia de la iguana. El corte o quema profunda de las escamas de la cola ha demostrado ser duradero. En este sistema, las espinas se cortan de adelante hacia atrás donde las espinas de la izquierda de la cola representan las decenas y las de la derecha las unidades. En caso de centenas se usan las espinas medias.

Nunca se debe introducir al sistema reproductivo especies diferentes a la especie a producir, para evitar hibridación, uno de los problemas más graves suscitados en granjas de vida silvestre. Así, en el caso de *Ctenosaura pectinata*, no deben incluirse en el sistema *C. acanthura*, *C. hemiophya* o *C. similis*, que son del mismo tamaño, o las especies de *Cachrix* no deben mezclarse entre ellas con *C. oaxacana* o *C. clarki*, que son especies pequeñas. En caso de estar en la misma granja, deben siempre mantenerse bien identificadas y separadas. Debido a que las especies presentan amplia variación genética a lo largo de su distribución natural, si una UMA se ubica dentro del área de distribución de la especie, solo debe incluir en su sistema de

producción animales provenientes del mismo sitio. Esto evitará que las liberaciones y fugas de ejemplares contamine genéticamente a la especie local. Las UMAs ubicadas fuera del área de distribución de la especie deben contar con instalaciones que impidan escapes en absoluto. Debe de contar con cercos primarios y secundarios de contención y debe evitarse la introducción de especies exóticas. El escape de especie y su sobrevivencia en medios ambientales ajenos es la causa principal de la introducción de animales invasores, un problema grave de conservación de la actualidad. Estos animales no solamente introducirán al medio organismos no pertinentes al área, sino que pueden introducir agentes zoonóticos antes no existente en las poblaciones de especies residentes. Los propietarios de este tipo de UMAs deben realizar monitoreos periódicos para verificar que no hay fugas de su granja, y en caso de haberla, se debe notificar y diseñar los planes para mitigar su responsabilidad.

De acuerdo con la Ley, las UMAs deberán contribuir a la recuperación de las especies silvestres. La mejor manera de retribuir al ambiente es mediante la liberación de ejemplares nacidos en cautiverio. Se recomienda por lo menos la liberación del 25% de la producción de crías de manera anual, siguiendo los lineamientos para liberación establecidos por la Dirección General de Vida Silvestre. Los ejemplares liberados deben provenir aleatoriamente de todas las nidadas de manera igual, con el fin de mantener la diversidad genética en el medio; así, los individuos liberados no deben provenir de una sola madre, sino del total de las madres del sistema. Los animales elegidos para liberar deben provenir de un encierro destinada solamente para las nuevas crías. Este encierro debe estar perfectamente saneado, ya que los animales a liberar deberán pasar un filtro sanitario, más fácil de cumplir si las crías a liberar se han mantenido limpias y fuera del contacto de los demás organismos de la granja desde su nacimiento.

Para renovar la sangre de la población en cautiverio deberán intercambiarse los individuos adultos originales, o una muestra de organismos adultos de ambos sexos equivalentes a los organismos que serán extraídos con este fin. Debe haber manejo de sangre cauteloso teniéndose cuidado que los organismos parentales se reproduzcan alternadamente entre hembras y machos y evitar al máximo que una hembra se reproduzca continuamente con el mismo macho. Para esto se requiere que cada hembra y macho que participa en el esquema de reproducción debe ser marcado.

Los animales deben estar en encierros con características adecuadas para el bienestar de los animales. Las especies de *Ctenosaura* son por lo general muy agresivas. Hay jerarquías bien establecidas entre machos y hembras y existirán constantes combates por el dominio del encierro, que puede afectar la calidad de los ejemplares. Así, los encierros deben ser grandes de acuerdo en el tamaño de especie que se quiere reproducir y el número de ejemplares que se quiere mantener. Se ha sugerido que un encierro debe mantener un macho y cuatro hembras adultas, para evitar conflictos entre machos. Exceso de machos conduce a dos problemas, 1) Que los machos no dominantes se mantengan escondidos y finalmente mueran de hambre; y 2)

que el macho dominante esté tan preocupado por proteger a sus hembras que termine igual muerto de hambre y sin cumplir su actividad principal que es la reproducción. Cuando las iguanas son jóvenes, antes de establecer jerarquías se pueden mantener en estanque de engorda con varios individuos, pero se debe evitar la sobrepoblación y asegurarse de que todas las iguanas coman. El uso de instalaciones en tercera dimensión con postes y árboles que las iguanas puedan escalar, así como de postes y barras, barreras visuales y refugios puede mitigar los enfrentamientos entre iguanas juveniles.

Existe mucha información sobre instalaciones de iguanas, pero mucha de ella, referida a especies menos agresivas como es la iguana verde. La instalación mas adecuada para *Ctenosaura* no está aun bien definida y existen varios modelos que se pueden seguir. Para las iguanas reproductoras (un macho y cuatro hembras) se recomiendan espacios medianos de unos 3.5 x 3.5 m mínimo. Estos espacios deben estar al aire libre y rodeados de lámina galvanizada lisa de 1.5 m y no de malla, debido a que las iguanas procedentes del medio natural tratarán de cruzarla lastimándose la nariz. La lámina debe estar enterrada unos 50 cm o bien se debe construir una base cimiento de concreto. El espacio debe estar bien drenado para evitar inundaciones en época de lluvias. Debe tener un monte de piedras grandes redondeadas que funcionen como refugio general, tal vez facilitando la entrada de las iguanas con tubos de PVC o concreto. Al centro se debe poner una torre de hasta dos metros en forma de T o de A de troncos gruesos que puedan escalar. Esta torre les permitirá asolearse y resguardarse del sol simultáneamente. Hay que tener cuidado de que la torre no sobresalgan de la cerca para que las iguanas no escapen. Se deben también colocar algunas sombras adicionales bajas dentro del encierro. Los alimentadores se ubicarán en la base de la torre y deben ser de fácil acceso para todas las iguanas. Alternativamente, iguanas adultas cautiverizadas (igual, un macho y cuatro hembras) se pueden poner en encierros mas pequeños de malla criba galvanizada. Preferimos el modelo de panal de 1.5 m de diámetro y 2.30 de altura mínimo con seis lados y techado. Debe tener un tronco en medio para escalar y refugios de madera sujetos alrededor de la jaula a diferentes niveles. Los refugios son una caja de 15 x 15 x 60 cm cerrada solamente de un lado donde las iguanas se pueden asolear horizontalmente sobre ellas o esconderse dentro. Los alimentadores irán en la base de la estructura. Este sistema permite el mantenimiento simple de varios grupos de iguanas reproductoras al mismo tiempo a un costo relativamente bajo.

Las jaulas de engorda o de juveniles deben ser extensivas con 10 x 10 m cuanto menos, rodeadas de lámina galvanizada colocada como descrito arriba. Hay que tener mucho cuidado de que las iguanas no puedan sobrepasar la cerca y que las uniones entre las láminas estén perfectamente selladas, para evitar fugas ya que las iguanas pequeñas son hábiles para escalar utilizando cualquier medio. En su interior se deben colocar muchos refugios consistentes en un montón central grande de piedra redonda grande, montones de block hueco y tubos de concreto, todo desmontable (sin concreto) y que se puedan mover fácilmente al momento de la cosecha de los organismos. Los refugios deben estar distribuidos al azar por todo el encierro,

pero lejos de las orillas. La pila de piedras redondas que proporcionará soporte a varias torres en forma de T y A como las descritas arriba con la misma función, y deben colocarse sombras adicionales mas bajas, lejos de la orilla. Las barreras visuales son importantes para evitar peleas durante la jerarquización de las iguanas preadultas que comienzan sus desplantes. Es importante que los encierros estén lejos de árboles externos cuyas ramas caigan sobre la cerca o en el interior facilitando la salida de las iguanas. También hay que evitar el crecimiento de la vegetación en el interior y exterior del encierro que facilite la salida de las iguanas, teniéndose que remover constantemente. Se deben colocar varios alimentadores para asegurar de que todas las iguanas coman.

Las crías se deben colocar en encierros planos de 1.5 x 1.5 x 20 cm cuando menos perfectamente sanitizadas. Estas jaulas estarán cubiertas de malla galvanizada de metal en todos sus extremos y cuidando que las puertas embonen perfectamente ya que las crías se fugan fácilmente. Las jaulas son bajas para evitar que las iguanas crías sufran deformidades en sus patas al estar colgadas de la malla durante su periodo de cría y deben ser de malla metálica criba para evitar saqueos de gatos y otros animales ferales.

Cachrix y las *Ctenosaura* pequeñas (*C. clarki* y *C. oaxacana*) requieren tener como refugios troncos con oquedades o refugios individuales de luz de entrada pequeña y que quepan de manera justa (digamos de unos 5 cm de diámetro). Éstos deben dispersarse de manera aleatoria dentro del encierro sujetos en palos que puedan escalar para llegar a ellos. Estas iguanas pasan la mayor parte del día ocultas, por lo que este tipo de encierros es fundamental.

El alimento puede ser de diferente índole. Experimentos con resultados muy satisfactorios sugieren que las iguanas pueden alimentarse solamente de alimento comprimido peletizado para conejo (por ejemplo, Conejina de Purina, S. A.). Este se les otorga de manera libre en recipientes hondos de fondo plano para evitar el despilfarro de alimento, y deben estar cubiertos de la lluvia evitando que se mojen. Las iguanas pueden comer conejina desde su fase de cría. Para complementar se les puede ofrecer una variedad de flores y frutos de temporada como tulipacho, mango, jitomate, pimiento, tunas, etc. No dar brócoli, calabazas y pepino, nopales y dietas ricas en proteína. El brócoli, las calabazas, los pepino y verduras afines les ocasionan gases que pueden llegar a ser mortales; los nopales son ricos en oxalatos que pueden causar problemas óseos en individuos adultos viejos, y las dietas ricas en proteínas pueden causar enfermedad de los huesos desde crías que es un debilitamiento del hueso que lleva a deformidades irreversibles. Para un mejor crecimiento, las iguanas deben alimentarse diariamente y debe tenerse cuidado que todas ingieran alimento. Deben hacerse pruebas de otorgamiento y consumo en cada granja para calibrar el alimento que se debe proporcionar por encierro en función del número, tamaño y peso promedio de las iguanas en cada encierro, manteniendo a las iguanas en un crecimiento constante. Debido al bajo metabolismo de las iguanas, estas crecen lento, pero de igual modo requieren poco alimento. La alimentación es lo

mas delicado en el éxito de la cría de las iguanas en cautiverio. Se recomienda llevar un monitoreo para establecer las tasas de crecimiento, y con eso el mejor periodo de cosecha de acuerdo en el modelo y objetivos de la granja (para venta de crías o de adultos).

Para un manejo óptimo se requieren instalaciones seriadas, con rotación de jaulas en las que las iguanas se van moviendo de uno a otro verificando la salud de cada iguana y dando limpieza a cada encierro. Todos los nacimientos de un mismo año siempre deben ingresarse en jaulas de crías limpias y sin iguanas mas grandes que eviten interacciones con las nuevas crías, mordiéndolas o evitando que coman. Hay registros de canibalismo de adultos a crías en las especies de *Ctenosaura* grandes. Para evaluar el crecimiento se recomienda el uso de índices de condición en una muestra aleatoria de iguanas de cada encierro. Este índice se calcula dividiendo el peso entre la longitud, a modo tal que se puede detectar que el promedio de los organismos esperados en el encierro es óptimo o subóptimo. En hembras adultas debe tomarse este índice con precaución pues refleja tanto la salud como el estado de gravidez. Las instalaciones también deben de contar con un pequeño laboratorio para tratamiento de enfermedades individuales, para guardar los utensilios de medición y el papeleo, que siempre debe estar en orden.

Deben aplicarse filtros de salud para evitar la diseminación de enfermedades peligrosas, que al momento no están bien definidas para las iguanas. Durante la rotación de las jaulas, todas las iguanas deben ser revisadas cuidadosamente señalando las iguanas enfermas y separándolas a un encierro de observación y cuarentena. Es importante remover las garrapatas y aplicar antiséptico en goma sobre las heridas (Kanke, por ejemplo).

Las hembras se reproducen a los 3 años de edad y su capacidad de reproducirse depende del tamaño. Tienen una sola puesta durante la temporada de secas, por lo que hay que estar listos para recibir los huevos entre marzo y abril. Las iguanas ponen muchos huevos, que varían desde 88 huevos en las ctenosauras tropicales mas grandes (*C. pectinata* y *C. similis*), hasta de 9 a 2 huevos en *Cachrix* y las ctenosauras pequeñas. La incubación es bastante constante y varía de 80 a 108 días (92 días en promedio). Para la incubación deben separarse a las hembras grávidas antes de la oviposición palpándolas para conocer el grado de desarrollo de los huevos. El momento de la puesta está listo cuando los huevos muestran sus formas redondeadas a través de la piel de la hembra. Con un buen registro de peso, se puede detectar a las hembras grávidas debido al incremento súbito del peso. Las iguanas listas para poner se pasan a una cama de puesta que es un área o una caja destinada únicamente a la puesta de las crías. La caja está llena de arena en la que se simulará una puesta natural. Se recomienda de mantenga una iguana por área de puesta hasta que se recojan los huevos para que otra iguana no rompa los huevos de la anterior. Se recomienda el uso de áreas o cajas individuales en lugar de áreas de ovoposición comunes, por la misma razón. La iguana se pone en un extremo de la arena y después de que se cierra el espacio y la iguana escaba hasta el fondo y pone los huevos. Al terminar, la iguana sale por el extremo donde entró. Después de la puesta los huevos se

escarban y se extraen conservando la orientación del huevo y se trasladan a las cámaras de incubación evitando el movimiento al máximo. Debido a la variabilidad en la época de puesta en diferentes áreas o especies, en un inicio se recomienda tener un seguimiento continuo para estimar la fecha de inicio de oviposición, la fecha de terminación y la fecha más productiva. La oviposición se puede estimular con 10 unidades por kg de peso de oxitocina; sin embargo, no se recomienda esta técnica, ya que una ligera sobredosis impide que salgan los huevos y puede matar a la hembra. Una vez que una iguana oviposite se devuelve a la misma jaula de adultos reproductivos donde fue extraída, y para evitar consanguinidad en la granja, las iguanas hembras se moverán con otro macho antes de inicio de la temporada de lluvia, llevando un registro muy cuidadoso de que iguana se reproduce con que macho.

La incubación debe ser en nidadas individuales en contenedores plásticos con 5 cm de sustrato desinfectado (arena) con la humedad calibrada a dos partes de sustrato por una parte de agua. Los huevos deben quedar semienterrados y deben permanecer inmóviles. Deben cubrirse con plástico transparente para evitar la entrada de plagas (sobre todo hormigas) y la salida de la humedad. La temperatura de incubación debe estar entre los 28 y 30 °C. 26 °C retarda tanto la incubación que las iguanas pueden morir y 32 °C acelera la incubación, pero puede terminar con deformaciones de la cola. Se recomienda que la instalación tenga un cuarto de incubación asociado al laboratorio con temperatura regulada y acceso restringido. Los huevos fértiles deben estar turgentes todo el tiempo y los huevos muertos que se ponen suaves y se llenan de hongos, deben removerse. Manteniendo las temperaturas y condiciones favorables, se espera que el nacimiento de las iguanas sea consistente en tiempo. Cada UMA determinará el tiempo de incubación de su sistema pues depende de la temperatura lograda. Menor temperatura retrasa la incubación. Una vez que los neonatos estén listos, estos romperán el cascarón y saldrán al poco tiempo. Estas deben ser trasladadas a las jaulas de crías y ser mantenidas ahí hasta su crecimiento. La fase de cría es la más difícil de sobrepasar en los sistemas de cría en cautiverio, y cada instalación debe explorar las mejores técnicas para optimizar el crecimiento de crías hasta tallas deseables.

Lecturas recomendadas sobre crianza de iguanas de cola espinosa en cautiverio

Arcos-García, J. L., Cobos-Peralta, M. A., Reynoso Rosales, V. H., Mendoza Martínez, G. D., Ortega Cerrilla, M. A. y Clemente-Sánchez, F. 2002. Caracterización del crecimiento de la iguana negra (*Ctenosaura pectinata*) en cautiverio. *Veterinaria México*, 33(4) 409- 419. (ISSN 0301-5092)

Arcos-García, J. L., Reynoso Rosales, V. H., Mendoza Martínez, G. D. y Hernández Sánchez, D. 2005. Identificación del sexo y medición del crecimiento en iguana negra (*Ctenosaura pectinata*) en las etapas de cría y juvenil. *Veterinaria México*, 36(1): 53-62. (ISSN 0301-5092)

- Arcos-García, J. L., Reynoso R., V. H., Mendoza M., G. D., Clemente Sánchez, F., Tarango Arámbula, L. A., y Crosby, G. M. M. 2005. Efecto del tipo de dieta y temperatura sobre el crecimiento y eficiencia alimentaria de la iguana negra (*Ctenosaura pectinata*). Revista Científica-Facultad de Ciencias Veterinarias-LUZ, Venezuela. 15(4): 338-344. (ISSN: 0798-2259)
- Barajas Campuzano, N. y Ortega Reyes, G. 1998 Criadero en semicautiverio de iguana negra (*Ctenosaura pectinata*) e iguana verde (*Iguana iguana*) en el Centro de Conservación de Tortuga Marina y Desarrollo Costero "El Chupadero", Municipio de Tecomán, Colima. Primer Taller Nacional sobre Manejo de Iguanas en Cautiverio, Pátzcuaro, Michoacán. Delegación Federal de la SEMARNAT en Michoacán, Dirección General de Vida Silvestre.
- Reynoso, V. H. y W. Medina Mantecón (eds.). 2010. Taller manutención, reproducción y desarrollo de la iguana verde y negra en cautiverio. Programa y Resúmenes en extenso de la XIII Reunión Nacional sobre Iguanas. Hermosillo, Sonora. 13 y 14 de noviembre de 2010. Subcomité Técnico Consultivo para la Conservación, Manejo y Aprovechamiento de las Iguanas en México, CEES y Prescott College. 160 págs.
- Rueda Zozaya, R. P., Mendoza, G. D., Crosby, M. M., González, G., Reynoso, V. H. 2010. Effect of feed type and sex on digestibility and feed efficiency in the Black Spiny-Tailed Iguana (*Ctenosaura pectinata*). Zoo Biology. 29: 1-6. (ISSN: 1098-2361; FI: 0.695)
- Rueda-Zozaya, P., Melissa Plasman, M., Reynoso, V. H. 2021. Good alimentation can overcome the negative effects of climate change on growth in reptiles. Biological Journal of the Linnean Society, XX: 1–12.

Parte 3

Recomendaciones para el monitoreo, manejo y aprovechamiento sustentable de las iguanas de cola espinosa en vida silvestre

El rancheo es una de las técnicas de comercialización más eficientes, pero también riesgosas si se pretende la recolecta de un gran número de ejemplares. El rancheo debe hacerse con mucho cuidado para mantener la población explotable en condiciones favorables, evitar que la producción disminuya y su extirpación local. Es muy fácil que un mal manejo de vida silvestre mediante el rancheo colapse en sus poblaciones que, en el caso de los reptiles, podría evitar su recuperación al corto plazo. Para tener explotación sustentable mediante la técnica de rancheo es muy importante tomar mediciones confiables y ser honesto con respecto a los datos y resultados que dictan los estudios. Falta de honestidad puede llevar las poblaciones a la extinción.

Para realizar estudios que permitan establecer una tasa de extracción sustentable en un área determinada es necesario realizar estudios de campo. Estos estudios consisten en obtener información de la abundancia de ejemplares que existen en el área y mediante el cálculo matemático de estimaciones establecer el número de extracciones que pueden realizarse sin que la población sea afectada y se mantenga a perpetuidad en el sitio. Existen tres tipos básicos de muestreo y cálculos. Estos métodos deben realizarse al pie de la letra y los datos deben ser confiables para su verificación.

Estos estudios son esenciales en un inicio, para poder dar de alta un sitio como UMA extensiva ante la DGVS SEMARNAT, y en segunda instancia para obtener los permisos de explotación y, de considerarse, exportación al extranjero. En cualquier caso, los estudios serán analizados y verificados por un experto. Para poder exportar bajo el régimen de CITES II se requiere que los lineamientos de explotación sustentable sean perfectamente documentados y avalados por la oficina CITES en CONABIO, México.

Los métodos de muestreo se dividen en tres: a) por recorrido en franja, b) por cuadrante y c) por población. De acuerdo con el que se utilice, será más fiable la información obtenida sobre el recurso y la tasa de aprovechamiento. Para un mejor manejo de las poblaciones en vida libre, los monitoreos por población son más confiables; en segundo lugar los monitoreos por cuadrante; y en tercer lugar los monitoreos en franja. Los monitoreos por recorrido lineal, muy usados en tierra firme, proporcionan resultados poco confiables y no son recomendables para diseñar modelos de explotación sustentable. Para que una población sea perfectamente explotable y garantice la perpetuidad de la especie en el sistema, es imperante que el monitoreo de sus poblaciones mejore año con año, sugiriéndose empezar con los monitoreos en franja en el primer año manteniendo un compromiso de realizar monitoreos por cuadrante para el segundo año y finalmente realizar un monitoreo por poblaciones para el tercer año. De

seguir esta serie de pasos, se podrán tener datos precisos para lograr modelar proyecciones de explotación a diferentes tasas, lográndose el mejor manejo posible.

En todos estos métodos, la calidad de los datos debe ser fehaciente y demostrable, por lo que se recomienda llevar una bitácora de cada ejemplar avistado, así como de su fotografía y georreferencia. Mejores datos se obtienen si los ejemplares son capturados, medidos, sexados y se determine su estado de desarrollo, ya que se podrán estimar tasas de aprovechamiento distintas para hembras y machos o de crías, juveniles y adultos, dependiendo lo que se quiera aprovechar.

a) Método por recorrido en franja. Con este método se pueden establecer densidades mínimas de un área definida, considerando que la distribución del ambiente y fisiografía del terreno son idénticos en toda su extensión, cosa que es falso. Es el método menos confiable para hacer estimaciones de densidad de una especie en particular dentro de un cuerpo de agua. Este método se basa en muestreos en franjas estandarizadas en función del tamaño del área que se quiere muestrear. Las franjas de muestreo tienen un largo determinado y deben cubrir cierta anchura en ambos lados de la línea media, en la que se registra todos los individuos que se encuentra dentro de un tramo. Para que el método sea eficiente, se deben establecer suficientes recorridos que abarquen una porción considerable del área de estudio (Figura 1).

Para las iguanas se hacen muestreos con encuentros visuales con captura de preferencia, recorriendo una y otra vez trayectos preestablecidos dentro del área que se pretende aprovechar. Los trayectos pueden ser caminos, veredas o cauces de arroyos que crucen el área. Los muestreos se hacen revisando todos los posibles lugares donde se puedan esconder las iguanas, incluyendo, las copas de los árboles, los troncos, los ramales, las oquedades de los árboles, los montones de piedra, las grietas entre rocas, oquedades en el suelo, etc. La búsqueda debe ser lo mas exhaustiva posible para que los resultados se aproximen a la realidad. Si el área de aprovechamiento es muy extensa, deben establecerse varios trayectos dentro de ella distribuidas en diferentes zonas y cruzando los diferentes ambientes, y debe estar lo suficientemente separadas entre ellas para evitar los conteos dobles de iguanas. Para facilitar los análisis, es preferible que todos los trayectos sean idénticas en su longitud y anchura.

Cada recorrido consiste en caminar los trayectos que se hayan dispuesto en el terreno. Entre mas recorridos se hagan, mejor serán los datos y mejor será la confianza de que los resultados son certeros. Aun cuando se pueden registrar solamente los avistamientos para obtener datos de abundancia y densidad estimada dentro del área, los análisis y resultados son mejores si se los animales se capturan obteniendo datos de sexo, tamaño, peso y estadio (cría, juvenil o adulto) que permiten hacer estudios poblacionales mas profundos (ver métodos basados en poblaciones, mas abajo). Para lograr un mejor análisis espacial, se recomienda

georreferenciar la ubicación de cada avistamiento en el trayecto para que puedan plasmarse datos de abundancias en un mapa de sitio (ver métodos basados en área, mas abajo).

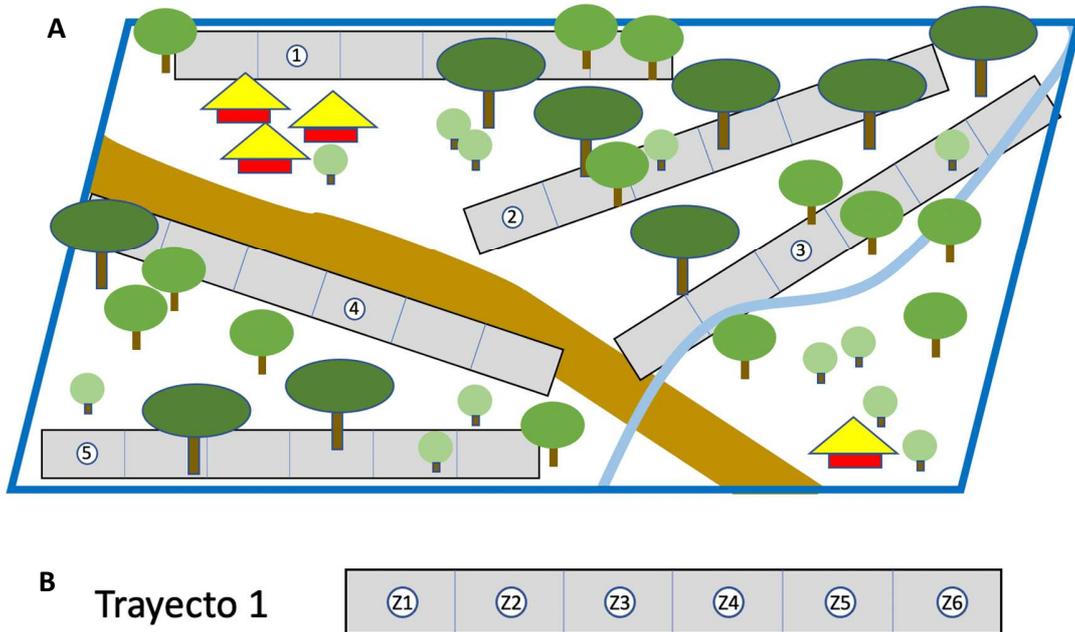


Figura 1. A. Vista aérea en la que se ilustra un ejemplo de como se podrían colocar los trayectos para cubrir la mayor área posible dentro de un área de aprovechamiento. En gris, trayectos en numeradas (círculo blanco). Cada trayecto está zonificado en cinco partes. Se ilustran 5 trayectos de 40 m de largo por 5 de ancho cubriendo un área total de muestreo de 1000 m². Se recomienda que todos los trayectos sean del mismo largo y ancho para facilitar los análisis. Entre mas recorridos se hagan por trayecto, mejor serán las estimaciones. trayecto cubra la mayor área para mejorar el muestreo. B. Zonificación de los trayectos de Z1 a Z6 en el ejemplo.

Para estimar las densidades poblacionales con el método de recorridos por trayecto se requiere seguir el siguiente método. Se colocará uno o varios trayectos cubriendo la mayor superficie posible del área que se pretende aprovechar. Cada trayecto será zonificado en tres o mas partes iguales con el fin de agrupar los avistamientos y capturas (Figura 2). Se realizarán recorridos diarios en los 5 trayectos revisando exhaustivamente todos los sitios donde podrían esconderse las iguanas, por ejemplo, durante una semana. Para obtener resultados más confiables, se debe repetir el muestreo una semana al mes por varios meses, por ejemplo; y para tener una mejor representatividad del área, se pueden mover los trayectos a diferentes sitios para cubrir mejor el área a aprovechar en los distintos meses. Las iguanas avistadas deben ser capturadas con cautela con una gaza o con la mano registrando la georreferencia del avistamiento, el número de trayecto, la zona donde se capturó dentro del trayecto, el número del recorrido y fecha y hora de la captura. Cada iguana debe individualizarse con una marca permanente y se debe fotografiar registrando su marca, foto de la cabeza dorsal, lateral y ventral, y su cuerpo con al menos la parte proximal de a cola en dorsal, lateral y ventral,

asociando las fotos al número de marca. De cada iguana debe registrarse su especie, sexo, peso y longitud hocico-cloaca, y si ya había sido capturada con anterioridad (recaptura), debe registrarse el número. Todas las iguanas capturadas deben ser liberadas en el mismo sitio de captura. Si por alguna razón alguna iguana resultara muerta por algún mal manejo, igual debe registrarse. Todas las iguanas deben ser liberadas independientemente de su estado físico, menos las muertas. Si el área de aprovechamiento propuesta es muy grande o intrincada, se debe repetir esta metodología en diferentes puntos.

Para la obtención de parámetros de densidad y abundancia, los datos a analizar son, longitud del trayecto, ancho del trayecto y número de observaciones en cada recorrido por especie. Si se requieren densidades por estructura poblacional se requiere la longitud hocico-cloaca (o estadio: cría, juvenil o adulto) y sexo de cada individuo. A partir de estos datos se puede calcular la densidad y tamaño relativo de la población, asumiendo que el ambiente de todo el sitio es semejante, cosa que es irreal. Así, con el promedio de las densidades de cada recorrido se obtendrá un promedio general que permitirá calcular la densidad de iguanas estimada por área (número de individuos de cada tamaño y cada sexo en el área total). Además, a partir de los datos de longitud y el sexo se puede estructurar la población por categorías de tamaños dando a conocer si existe una buena proporción de todas las clases de tamaño o estadios, si la población cuenta con ejemplares reproductores, sobre todo hembras, que, en un futuro, aporten al reclutamiento de nuevos individuos a la población y si la proporción de sexos es correcta. Estos parámetros nos permitirán proponer una tasa de aprovechamiento realista basada en datos de campo. Debido a que el método es el menos fiable, ya que no hay certeza alguna de que las iguanas se distribuyan uniformemente en toda el área, el porcentaje de aprovechamiento debe ser conservador. Se sugiere que no debe sobrepasar del 5% de la abundancia total de iguanas estimadas en el área a aprovechar. También se recomienda que de este 5% no se extraigan las hembras o que el porcentaje de extracción de las hembras sea muy bajo debido a que la demografía de las iguanas depende más que nada del número de hembras adultas, por lo que se debe tener especial cuidado al realizar su extracción. En caso de que se desee extraer hembras adultas, un porcentaje de extracción conservador es de cuanto más del 1.25% del total de la población, (25% del 5% aprovechable). También puede decidirse que el cinco por ciento aprovechable sea de todos adultos machos, todos juveniles o todas crías, o una combinación de ellos sin rebasar la proporción.

Los análisis de datos deben hacerse por especie, y pueden separarse los valores de hembras, machos, juveniles y crías para obtener datos más precisos por sexo y estadio. Así, la densidad del sitio debe estimarse dividiendo el número total de capturas de una especie entre el área total muestreada, pero sin contar las recapturas. Para calcular cuantas iguanas podemos aprovechar de manera segura, protegiendo lo más posible a la población, hay que establecer la variación intrínseca al muestreo, ya que el número de iguanas capturados por trayecto y por

recorrido varía. Para esto, se debe establecer la desviación típica a partir de los datos de captura por recorrido.

La manera más segura de estimar el número de iguanas que pueden ser aprovechadas, es mediante el cálculo del Total Base Aprovechable. Este valor pretende beneficiar a las poblaciones naturales de iguanas al calibrar el número de capturas totales con respecto a la variación que existe entre los diferentes trayectos. La calibración se da entre líneas de muestreo, ya que muestran mayor variación, al estar colocadas cada una en sitios diferentes que podrían tener condiciones ambientales diferentes y afecten la distribución de las iguanas. Para calcular de manera fácil el TBA seguiremos el ejemplo del Cuadro 3.

Cuadro 3. Ejemplo para calcular el total base aprovechable de un área hipotética de 5 hectáreas. Se colocaron 3 trayectos divididos en tres zonas en los que se realizaron 5 recorridos, cubriendo un total de 600 m² por trayecto. El número de recapturas no debe contarse. T = trayecto; R = recorrido; X = Promedio; DT = desviación típica; X-DT = promedio menos la desviación típica; NZ = Número de zonas; BAR = base aprovechable del recorrido.

Trayecto	Número de iguanas capturadas (sin contar recapturas)									Total	X	DT	X-DT	NZ	BAR
	T1			T2			T3								
Zona	1	2	3	1	2	3	1	2	3						
Recorrido															
R1	12	10	7	6	4	5	25	22	25	116	12.9	8.7	4.2	9	37.5
R2	15	10	2	4	8	4	21	18	14	96	10.7	6.7	3.9	9	35.5
R3	12	10	5	2	5	3	17	15	14	83	9.2	5.6	3.6	9	32.5
R4	10	8	6	2	3	5	12	10	8	64	7.1	3.4	3.7	9	33.7
R5	2	3	5	2	5	6	10	5	3	41	4.6	2.5	2.1	9	18.5
										Total Base Aprovechable (TBA) =	157.59				
										*Densidad (iguanas por metro cuadrado) =	0.09				
										Iguanas por hectárea =	875				
										Área total de aprovechamiento =	50000				
										Iguanas totales estimadas en el área de aprovechamiento =	4377				
										Porcentaje sugerido de aprovechamiento 5% =	0.05				
										Iguanas que se puede aprovechar =	219				

El Cuadro 3 representa un ejemplo en el que se colocan 3 trayectos en sitios diferentes divididos en tres zonas cada uno, y se hacen cinco recorridos totales. Los trayectos son de 5 x 40 m cubriendo un total de 600 m². Para el ejemplo vamos a suponer que el área total que se pretende aprovechar es de 5 hectáreas. En un cuadro se deben acomodar los valores de captura de cada trayecto por zona y por recorrido como muestra el cuadro 3. Después de debe calcular el promedio de cada recorrido (indicado por X), así como su desviación típica (indicado por DT). El promedio no es mas que la suma de las iguanas capturadas en todas las zonas de todos los trayectos en el primer recorrido, dividido entre el total de zonas. En este caso, en el

recorrido 1 se capturaron $12+10+7+6+4+5+25+22+25$ iguanas que suman 116 iguanas. El promedio sería $116 \text{ iguanas} / 9 \text{ zonas} = 12.9$ iguanas por zona ($X = 12.9$). El cálculo de la desviación típica es un poco complejo, y para su entendimiento los refiero a https://es.wikipedia.org/wiki/Desviación_típica, pero puede calcularse fácilmente en una hoja Excel (función =DESVEST). A grandes rasgos, la desviación típica es cuantas iguanas más o menos de la media podría haber en el muestreo. En el caso del recorrido 1, la desviación típica es igual a 8.1, esto quiere decir que de las 12.9 iguanas promedio registradas, en realidad podría haber 8.1 más o 8.1 menos, esto es un rango de 4.2 a 21 iguanas, pero como no lo sabemos, para beneficio de la población nos vamos al valor posible más bajo. Entonces al promedio $X = 12.9$ le vamos a restar las 8.1 iguanas estimadas a partir de la desviación típica, resultando $12.9 - 8.1 \text{ iguanas} = 4.2 \text{ iguanas}$, y este valor lo vamos a multiplicar por el número de zonas muestreadas, o sea 9, de tal manera que $4.2 \times 9 = 37.5$. El valor 37.5 representa el estimado base aprovechable del recorrido. Entonces así se hacen todos los recorridos estimando los valores correspondientes. El TBA (Total Base Aprovechable) entonces sería la suma de los valores base aprovechable de todos los recorridos. Entonces, $TBA = 37.5 + 35.5 + 32.5 + 33.7 + 18.5 = 157.59$ iguanas. Estas son las iguanas que se valoran aprovechables a partir de las estimaciones del muestreo. Entonces para saber cuántas iguanas hay en el área de aprovechamiento, que en el ejemplo son 5 hectáreas, primero se debe calcular la densidad por metro cuadrado y llevarlo al número de hectáreas. La densidad por metro cuadrado es la división del valor TBA entre el área total muestreada ($600 \text{ m}^2 \times 3 \text{ trayectos} = 1800 \text{ m}^2$) resultando $157.9 \text{ iguanas} / 1800 \text{ m}^2 = 0.087 \text{ iguanas/m}^2$. Este valor se multiplica por 10,000 para obtener iguanas por hectárea y después por 5 para saber el valor en 50 hectáreas ($0.087 \times 10,000 \times 5$) = 4376.6 (4377) iguanas totales aprovechables.

El 5% de las iguanas aprovechables sería el 5% de 4377 iguanas, esto es $4377 \times .05 = 218.8$ (219) iguanas. Si se desea el aprovechamiento de hembras sería de 1.25 % de 4377, esto es $4377 \times .0125 = 54.7$ (55) iguanas hembras. Los cálculos de aprovechamiento para los demás sexos y estadios se hacen de la misma manera.

Debido a que este tipo de muestreo genera mucho error en los valores estimados, los cálculos deben ser en beneficio de la población y no al revés. El incremento de los esfuerzos de muestreo mediante el aumento del número de trayectos, reflejará de mejor manera la representación de las iguanas capturadas en el muestreo en el área total a aprovechar. Así, la varianza dentro del área de aprovechamiento disminuye al obtenerse datos más homogéneos, resultando en mejores tasas de aprovechamiento.

b) Métodos basados en área (Modelos de ocupación). Los modelos de ocupación son herramientas que permiten explicar el uso y la distribución de una especie considerando que no es posible observar al 100% de los individuos en un área determinada. Este método pretende determinar la proporción de área que ocupada una especie cuando no es posible observarla de

manera directa. Es más preciso que el método de recorridos en franja, ya que el resultado final está basado en los puntos de colecta donde sí se encuentra la iguana, y no se extrapola las densidades obtenidas al total del área de aprovechamiento, otorgando valores más realistas. Si se implementa de manera correcta, con este método se puede predecir la presencia de una especie basado en covariables de hábitat (humedad, temperatura, cobertura forestal, tipo de suelo, degradación ambiental o contaminación, presencia de depredadores, entre muchos más). Para que este método rinda resultados confiables, es necesario implementar un muestreo intensivo que represente el área de estudio y que incorpore los hábitos de la especie. Para que el método funcione el área de aprovechamiento debe dividirse en muchos cuadrantes y el muestreo se realizará dentro de ellos. Entre mas cuadrantes, mejor pues hay mayor detalle en la distribución de la especie en el terreno. Los datos asociados a cada captura deben ser de calidad para cumplir los criterios de los modelos. Es necesario asegurar que la especie de interés siempre sea identificada de manera correcta, que los cuadrantes sean visitados en múltiples ocasiones y asegurarse de que el estado de ocupación en cada zona del cuadrante (ocupada o desocupada) esté bien registrado. El mejor periodo para muestrear es de la mañana al medio día cuando las iguanas están asoleándose y son mas visibles, y los meses cuando las iguanas tienen su mayor actividad son en marzo-abril cuando las hembras depositan sus huevos y en septiembre-octubre durante el periodo de apareamiento. Se recomienda hacer estudios preliminares para saber si el esfuerzo de muestreo planeado es suficiente para capturar iguanas.

Para usar este método se debe hacer lo siguiente. El área de interés debe dividirse en cuadrantes (Figura 2). No es necesario trazar los cuadrantes sobre el terreno, pero si es necesario que los avistamientos y capturas se asignen a algún cuadrante. Es preferible que los cuadrantes sean cuadros bien definidos. Y su número está en función del tamaño del área de aprovechamiento. Se ponen cuadrantes mas grandes en terrenos grandes y mas chicos en terrenos chicos. En cuanto más cuadrantes se tengan, el muestreo es más eficiente. Los recorridos se harán a cuadrantes seleccionados aleatoriamente en los cuales se hará una búsqueda intensiva de las iguanas en el sitio. Es importante que el número de visitas a los cuadrantes sea equivalente para facilitar los análisis. Cada mañana se elegirá que cuadrantes se visitarán ese día y se irán recogiendo los datos asociados a cada cuadrante y a cada iguana. Entre los datos más importante son, número de cuadrante (A5, E10, en el ejemplo), presencia de la iguana en el cuadrante, numero de iguanas avistadas y capturadas en el cuadrante, marca de la iguana, fotografías de la iguana (cabeza y cuerpo, dorsal lateral y ventral), longitud hocico cloaca, sexo, estadio (adulto juvenil o cría). Además, es imprescindible tomar la ubicación geográfica del cuadrante (coordenadas GPS) y datos ambientales asociados al cuadrante en el día de muestreo, como por ejemplo, temperatura, humedad, cobertura del dosel, tipo de suelo, inclinación del terreno, presencia de rocas de refugio u oquedades en los troncos, tipo de percha (árbol o roca donde se avistó o capturó la iguana), proximidad a cuerpos de agua, etc.; y

pueden ser de utilidad registrar otras como presencia de alimento, depredadores y cazadores. Para obtener estas mediciones se requiere cierta instrumentación como GPS, termó-higrómetro, clinómetro, densiómetro cóncavo, etc. o adaptaciones a estos instrumentos. Ahora existen aplicaciones de GPS, termómetro, brújulas, clinómetros, densiómetro, etc. para teléfono celular.

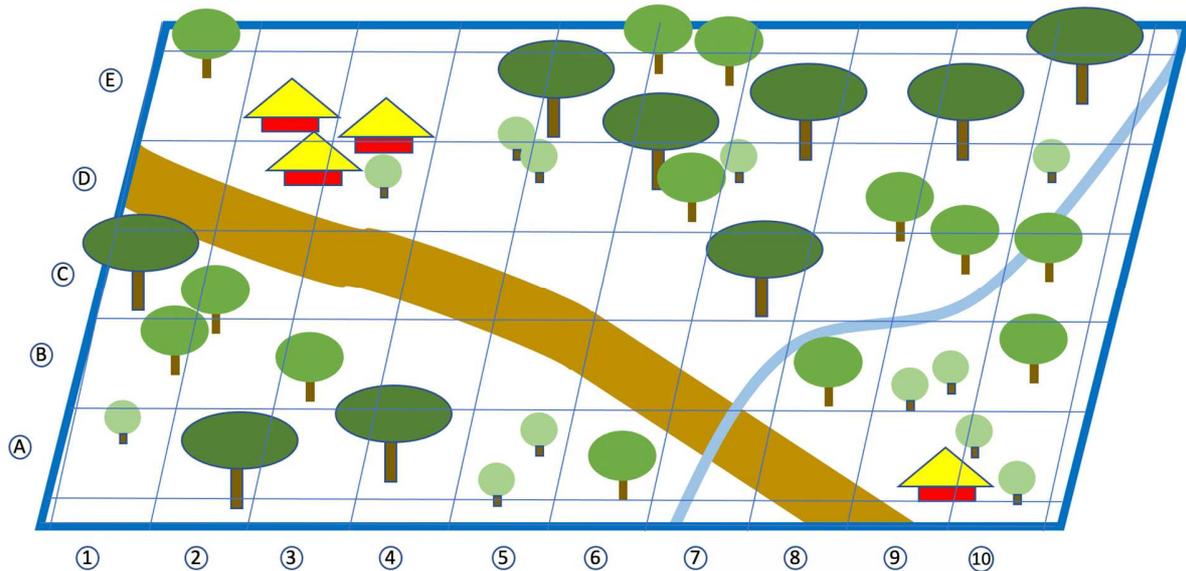


Figura 2. A. Vista aérea en la que se ilustra un ejemplo de como se podrían colocar los cuadrantes para cubrir la mayor área posible dentro de un área de aprovechamiento. Los números y letras en círculo blanco representan las coordenadas como se nombrará a cada cuadrante. Se ilustran 50 cuadrantes. El área que queda fuera de los cuadrantes no se usa para las estimaciones dentro de los cuadrantes, pero si se considera al estimar el área total de aprovechamiento. Se recomienda que los cuadrantes del mismo largo y ancho para facilitar los análisis. Entre mas visitas se hagan a cada cuadrante, mejor serán las estimaciones. Empíricamente se observa que en el cuadrante C6 no debe haber muchas iguanas, ya que está el camino, comparado, por ejemplo con el cuadrante E10 que cae en el bosque.

Una vez obtenidos los datos de campo los análisis se proceden de la siguiente manera. En un mapa del área, puede ser de Google Earth, se marcan los cuadrantes, y sobre ellos, los puntos de georreferencia donde se encontró cada iguana. Después de cada muestreo, a cada cuadrante se le asigna la presencia y abundancia de iguanas encontradas, pero para tener datos más específicos, se puede asignar la presencia y abundancia de iguanas de cada sexo o estadio (cría, juvenil, adulto).

Cuando utilizamos modelos de ocupación consideramos principalmente dos variables, la ocupación y la detección. La ocupación (que se denota con el símbolo ψ) describe la presencia o ausencia de la especie de estudio en los cuadrantes durante la temporada de muestreo. Por otro lado, la detectabilidad (que se denota con el símbolo p) define la capacidad que tenemos nosotros, nuestro instrumental y método de muestreo para saber si la iguana está o no en cada

cuadrante muestreado y en el sitio. La ocupación y la detectabilidad están estrechamente relacionados y para calcular ambos se utiliza el mismo método. El método para estimar la ocupación y la detectabilidad está basado en muestrear un determinado número de sitios (s) durante un determinado número de ocasiones (K). En cada muestreo se da un número al cuadrante muestreado de 1 si la especie está presente y de 0 si la especie está ausente. Con las repeticiones generadas en todos los muestreos de ese mismo sitio, se genera la historia de detección que es la secuencia de detecciones (1) y no detecciones (0) de la especie durante los muestreos. La historia de la detección la llamaremos (h).

Por ejemplo, el terreno en donde se quieren explotar iguanas, tiene un área de 100 h y se decidió dividirla en 10 cuadrantes de los cuales se muestreará la mitad. Aleatoriamente se seleccionaron muestrear los cuadrantes 1, 2, 3, 6 y 9. Cada cuadrante se recorrió en seis ocasiones. Después del muestreo, en el cuadrante 1 solamente se registró la presencia de iguanas en el segundo muestreo. Así, la historia del cuadrante 1 (que llamaremos h_1) sería 0, 1, 0, 0, 0 y 0; esto es, que la iguana no se registró en el primer muestreo (0), pero si en el segundo muestreo (1) y no se volvió a registrar en el tercero (0), cuarto (0), quinto (0), ni sexto (0). Entonces: $h_1 = 010000$. Si en el cuadrante 5 se registraron iguanas tres veces, en el muestreo 2, 3 y 6, la h sería $h_5 = 011001$; es decir, no se vio en el primer muestreo (0), si se vio en el segundo (1) y en el tercero (1) pero no en el cuarto (0), ni quinto (0) pero si en el sexto (1). Para el cuadrante 6 donde ninguna iguana fue detectada, la historia de detección sería representada por $h_6 = 000000$. De esta manera se va obteniendo la historia de muestreo de cada cuadrante hasta haber completado el número de cuadrantes escogidos. Para garantizar la eficacia del muestreo, es importante considerar que la especie objetivo nunca debe ser reportada por error cuando no está presente (falsa presencia). Todos los cuadrantes muestreados deben determinarse como ocupados o desocupados, y su estado no puede cambiar durante la misma ocasión de muestreo, una vez establecido. Recuerden que la honestidad en los datos es lo que lleva a un buen manejo de las poblaciones, aunque signifique el sacrificio de ingresos económicos.

A partir de las historias obtenidas en cada cuadrante se puede calcular la ocupación (ψ) y la detectabilidad (p). Existen distintas formas de calcular ψ y p para las unidades de muestreo. Se pueden utilizar modelos donde no existen fuentes de variación en los parámetros ambientales, pero éstos generan los peores escenarios para establecer la ocupación y la detectabilidad. Debido a esto, deben utilizarse modelos en los que se puedan incluir elementos ambientales que pueden estar estructurando la distribución de la especie en el cuerpo de agua. Estas variaciones ambientales son llamadas covariables. Existen distintos tipos de covariables como las mencionadas anteriormente en este capítulo, pero una de las fuentes de cambio más importante es la variación temporal; esto es, el cambio de la ocupación y la detectabilidad al pasar los meses en el año, por efecto del cambio estacional. En la notación del modelo sería

representada de la siguiente manera: $\psi(.) p(t)$, donde t indica una variación temporal en probabilidad de detección.

A partir de estos sencillos modelos, y cumpliendo de manera eficiente con los supuestos, es posible estimar valores útiles para conocer el estado de una población utilizando el amigable software PRESENCE <https://www.mbr-pwrc.usgs.gov/software/presence.html>. Para explicar de manera sencilla el uso práctico de estos modelos tomaremos el ejemplo del cuadro 3. Imaginemos un muestreo de iguanas en el que contamos con 10 cuadrantes (o pueden ser 10 cuerpos de agua pequeños), las cuáles fueron muestreadas 5 ocasiones durante la temporada de lluvias. La hoja o el reporte de muestreo a partir del cual generaremos la historia de detección (h_i) sería similar al Cuadro 4.

**Cuadro 4. Ejemplo de formato de registro para análisis de ocupación.
Valores de MacKenzie et al. (2006).**

Sitios de muestreo (s)	Ocasiones de muestreo (K)				
	1	2	3	4	5
1	0	0	0	1	1
2	0	1	1	0	0
3	0	1	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0
8	0	0	1	1	0
9	0	0	0	0	1
10	0	0	0	0	0

De esta manera la historia de muestreo (h) para el sitio 1 sería $h_1 = 00011$, la del dos $h_2=01000$, $h_3=00000$, etc. Una vez establecidas las historias de detección, estas se ingresan al programa el cuál estimará los valores de varios modelos posibles (e. g. $\psi(.) p(.)$ o $\psi(.) p(t)$, etc.)

Los resultados obtenidos en el programa PRESENCE muestran distintos valores entre los que se incluyen indicadores de que tan buenos son nuestros modelos respecto a nuestro muestreo, así como los valores de ocupación (ψ) y detectabilidad (p). Un reporte de resultados de dicho software se presenta en el cuadro 5.

**Cuadro 5. Ejemplo de resultado de un análisis ocupacional hipotético.
Datos de MacKenzie (2006).**

Modelo	ΔAIC	w	#Parámetros	-2L	ψ	$SE(\psi)$	p1	p2	p3	p4	p5
$\psi(.) p(.)$	0	0.73	2	161.76	0.60	0.12	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
$\psi(.) p(t)$	1.95	0.27	6	155.71	0.58	0.12	0.18	0.13	0.40	0.35	0.27
Promedio					0.59	0.12	0.24	0.22	0.30	0.28	0.26

Las columnas ΔAIC , w, #Parámetros, -2L y $SE(\psi)$ son indicadores de la calidad de los modelos obtenidos. ΔAIC es la diferencia entre modelos mejor puntuados de acuerdo en el Criterio de Información de Akaike (AIC) que evalúa qué tan bien se ajusta un modelo a los datos a partir de los cuales se generan; w es el poder predictivo del modelo evaluado y indica cuántos de los valores observados en nuestros datos reales son predichos por el modelo observado; #Parámetros es el número de parámetros contenido en cada modelo. El número de parámetros para el primer modelo es 2 porque únicamente va a calcular ψ y p, y el segundo modelo indica 6 parámetros ya que calculó ψ y p para cada una de las cinco ocasiones de muestreo, lo que da un total de 6 parámetros estimados y -2L es dos veces el logaritmo negativo de la probabilidad de ocupación, que es el límite máximo que indica un buen ajuste al modelo. Por otro lado, $SE(\psi)$ la variación de la ocupación dentro del modelo respecto a la media ocupacional observada.

Los modelos con ΔAIC menor a 2 se consideran válidos. Debido a que es difícil decidir qué modelo es el mejor se opta por hacer un promedio de los modelos para ψ , $SE(\psi)$ y p (1 - 5 en el ejemplo). Ese valor promedio nos dictará la ocupación promedio y su error estándar, y las detectabilidades por ocasión de los muestreos de 1 a 5. Para poder realizar el promedio únicamente se pueden utilizar los modelos cuyos valores en la columna de ΔAIC sea menor a 2. En el ejemplo no resulta un problema ya que únicamente se incluyeron dos modelos y ambos son menores a dos.

La ocupación (ψ) es similar en ambos modelos (0.60 y 0.58) y el promedio (0.59). En este caso son similares porque no existe fuente de variación o covariables que afecten estos valores. Por otro lado, cuando utilizamos el modelo sin variación [$\psi(.) p(.)$] los valores de detectabilidad (p) se mantienen constantes en las cinco ocasiones de muestreo (0.26), y cuando utilizamos el modelo con variación temporal [$\psi(.) p(t)$] los valores de detectabilidad (p) cambian para cada una de las cinco temporadas de muestreo (0.18, 0.13, 0.40, 0.35 y 0.27). De acuerdo en estos resultados, tomando en cuenta los valores promedio, la probabilidad de encontrar una iguana si visitáramos alguno de los cuadrantes es de 0.22 a 0.30, muy bajo.

La deficiencia del muestreo se observa cuando el valor resultante de la división entre sitios ocupados entre sitios totales es diferente a ψ . En nuestro ejemplo (Cuadro 4) se encontraron iguanas en 4 de 10 sitios, indicando una ocupación real de 0.4. Al restar este valor

al de probabilidad de ocupación del modelo 1, $\psi = 0.6$, nos da una diferencia de 0.2. Esto indica que nuestro cálculo de ψ sobreestima en un 20% la población medida. Los valores de ocupación generados a través de este método permiten obtener productos como mapas o modelos de distribución basados en presencia y ausencia dentro del área de estudio relacionada con las variables bióticas y abióticas que permitirán conocer de mejor manera las necesidades de cada una de las poblaciones y permitirá un aprovechamiento sustentable de la especie.

Hasta el momento la estimación de la ocupación las probabilidades de detección han sido considerados como constantes [$\psi(\cdot) p(\cdot)$] o con variación a través del tiempo [$\psi(\cdot) p(t)$]. No obstante, los modelos de ocupación permiten utilizar covariables (es decir, temperatura, humedad, cobertura de dosel, tipo de suelo, etc.) para calcular las probabilidades de ocupación y detección. Estos valores se insertan al programa PRECENSE para generar mejores modelos de predicción sobre la presencia de la especie en cada cuadrante. Para este propósito es necesario llevar una bitácora sistemática y detallada de las variables ambientales de interés ya que las probabilidades de ocupación y detección se estiman en función del cuadrante o en función de la ocasión de muestreo.

Para esto, se debe recopilar la historia de medición de cada variable generando una matriz de ocurrencia similar al Cuadro 6, colocando las medidas obtenidas en cada ocasión de muestreo por sitio de muestreo (cuadrante). Se debe generar una matriz igual para cada covariable y esta se ingresa al programa PRESENCE del mismo modo que la historia de ocupación. El programa asignará cada variable medida a la presencia o ausencia de iguana en la misma medida, y partir de las asociaciones entre medidas y ocurrencias establecerá la probabilidad de ocurrencia en función de las variables, una forma muy acertada de predicción. La estimación de las probabilidades de ocupación puede darse en función de una sola covariable o como un conjunto de ellas.

**Cuadro 6. Ejemplo de formato de registro de covariables para análisis de ocupación.
Valores hipotéticos de la covariable temperatura (°C).**

Sitios de muestreo (s)	Ocasiones de muestreo (K)				
	1	2	3	4	5
1	25	27	26	30	32
2	25	32	32	27	25
3	24	29	25	28	28
4	25	26	26	26	27
5	23	24	22	26	26
6	26	25	26	26	26
7	25	26	25	25	26
8	26	26	30	29	29
9	25	28	28	30	30
10	23	27	26	28	28

A partir de las matrices que contienen la historia de detección para cada sitio, así como de las covariables analizadas para cada unidad de muestreo, es posible generar modelos útiles para explicar la ocupación de nuestras unidades de muestreo basados en observaciones directas de la zona de muestreo, como las presentadas en la Figura 3.

Año 1

1 p = 0.0 n = 0	2 p = 0.0 n = 0	3 p = 0.4 n = 10*	4 p = 0.6 n = 27	5 p = 0.8 n = 42*
6 p = 0.0 n = 0	7 p = 0.0 n = 0*	8 p = 0.2 n = 7	9 p = 0.6 n = 20	10 p = 0.8 n = 35
11 p = 0.4 n = 10	12 p = 0.2 n = 6	13 p = 0.2 n = 5	14 p = 0.4 n = 10*	15 p = 0.8 n = 42
16 p = 0.6 n = 31	17 p = 0.6 n = 25*	18 p = 0.6 n = 22	19 p = 0.6 n = 25	20 p = 0.8 n = 51
21 p = 0.8 n = 42*	22 p = 0.8 n = 40	23 p = 0.8 n = 37	24 p = 0.8 n = 42*	25 p = 0.8 n = 47

Año 2

1 p = 0.6 n = 27	2 p = 0.6 n = 25	3 p = 0.8 n = 41*	4 p = 1.0 n = 67	5 p = 1.0 n = 71
6 p = 0.6 n = 27*	7 p = 0.6 n = 31	8 p = 0.8 n = 35	9 p = 1.0 n = 73	10 p = 1.0 n = 82
11 p = 0.8 n = 45	12 p = 0.8 n = 50	13 p = 0.8 n = 37	14 p = 1.0 n = 69*	15 p = 1.0 n = 73
16 p = 1.0 n = 53	17 p = 1.0 n = 55	18 p = 0.8 n = 41*	19 p = 1.0 n = 65	20 p = 1.0 n = 85
21 p = 1.0 n = 80	22 p = 1.0 n = 69*	23 p = 1.0 n = 65	24 p = 1.0 n = 69	25 p = 1.0 n = 69*

Figura 3. Disposición de 25 cuadrantes de 100 m² en dos años consecutivos. Cada cuadrante muestra, en un número de cuadrante (arriba) la probabilidad de ocupación (en medio) y número de capturas en campo sin incluir recapturas (abajo). Los valores de probabilidad de ocupación están de un gradiente de verde oscuro (p = 0) a rojo (p = 1). Los cuadrantes que no se muestrearon están cruzados con una diagonal. En estos cuadrantes el número de capturas estimadas están marcados con asterisco (*).

Una vez obtenida las probabilidades de ocupación, asociada con los parámetros ambientales (Figura 3), entonces podemos calcular la densidad y el tamaño poblacional. Con este método, la densidad estará en función de probabilidades de ocupación de las áreas que pueden ser usadas por la especie, de acuerdo en las características ambientales preferidas por la misma. Para estar del lado amable, el aprovechamiento debe hacerse solamente de acuerdo en aquellas áreas donde probabilidad de ocupación sea de media a alta. Así, los cuadrantes se van a clasificar en tres grupos: 1) los de probabilidad de abundancia baja; 2) los de probabilidad de abundancia media; y, 3) los de probabilidad de abundancia alta. Un método simple para hacer esto es restar el valor de probabilidad de ocupación al mayor valor de probabilidad de ocupación y dividirlo entre 3. Así, para el Año 1 se resta $0.8 - 0.0 = 0.8/3 = 0.26$. Así los grupos quedarían, 1) de $p = 0.0$ a $p = 0.26$; 2) de $p = 0.27$ a 0.52 ; y, 3) de 0.53 a 0.80 ; y para el Año 2, $1.0 - 0.6 = 0.4/3 = 0.13$, y los grupos quedarían de a) 0.6 a 0.73 ; b) de 0.74 a 0.86 ; y, c) de 0.87 a 1.0 .

La figura 3 representa un muestreo hipotético en un terreno donde se establecieron 25 cuadrantes de 100 m^2 cada uno, resultando una superficie total de 2500 m^2 . Los datos requeridos para los cálculos son el número del cuadrante, la probabilidad de ocupación y el número de capturas por cuadrante (excluyendo las recapturas). Los datos de número de

capturas por cuadrante se extrapolarán a aquellos cuadrantes que no fueron muestreados (cruzados en la figura 3). Los valores asignados a los cuadrantes no muestreados, será igual al promedio del número de iguanas encontradas en los cuadrantes con la misma probabilidad de ocurrencia (mismo color en la figura 3). Así, en el Año 1, para el cuadrante 7 en verde (no muestreado), se le asigna el promedio de los valores de los cuadrantes 1, 2 y 6 ($n = 0$) (muestreados); para los cuadrante 3 y 14 en amarillo (no muestreados), se asigna el mismo valor que el cuadrante 11 amarillo (muestreado) y para el cuadrante 17 en ámbar (no muestreado) se le asigna el promedio de los cuadrantes 4, 9, 16, 18 y 19 (muestreados); esto es $(27+20+31+22+25)/5 = 25$; y, a los cuadrantes 5, 21 y 24 anaranjado (no muestreados) se les pondría el promedio de n de los cuadrantes 10, 15, 20, 22, 23 y 25; esto es $(35+42+51+40+37+47)/6 = 42$. Del mismo modo se procedería para el Año 2. Para hacer estos cálculos fáciles, se recomienda hacer agrupaciones de probabilidad en rangos de 0.1.

Para estimar la densidad, los cuadrantes del grupo 1 (con probabilidad de ocurrencia baja), quedan fuera del análisis, ya que extender un aprovechamiento promedio considerando valores de zonas con pocas iguanas podría resultar poco beneficioso para a población. Entonces, para calcular la abundancia poblacional de iguanas del sitio, de manera simple es dividir la suma del total de las iguanas encontradas y estimadas en los cuadrantes del grupo 2 y 3 entre el tamaño total del cuadrante. Así, para el Año 1, las iguanas que se estiman en cuadrantes con p entre 0.27 a 0.52 (grupo 2) y p entre 0.53 a 0.80 (grupo 3); es decir, todas las iguanas con p superiores 0.27 (cuadrantes en amarillo, ámbar y anaranjado), son: $10+27+42+20+35+10+10+42+31+25+22+25+51+42+40+37 +42+47 = 558$ iguanas y la densidad es este valor dividido entre el área total del área a aprovechar. Debido a que la estimación se hizo con base a toda el área, y no a un fragmento de ella, entonces no hay necesidad de extrapolar los datos a una mayor área, como sucede en el modelo de recorridos en franja; y así, el número de iguanas estimado es mucho más cercano al tamaño real de la población en el área de aprovechamiento. Para estar aún más de lado amable, se debe calcular la desviación típica presentada en el apartado anterior, resultando de 13.02 iguanas que se deben ser restadas al total estimado, resultando $558 - 13 = 545$ iguanas aprovechables. En el ejemplo (Figura 3), el área total es de 2,500 m² por lo que la densidad de iguanas en el área sería 545 iguanas / 2,500 m² = 0.218. Para estar más aun del lado amable hacia las poblaciones, se debe estimar el Total Base Aprovechable por recorrido, del mismo modo que se hizo en el apartado anterior, eliminando los cuadrantes de categoría 1, con baja probabilidad ocupación.

En el ejemplo, si aplicamos el criterio de 5% de explotación del total de las iguanas, tal y como se hizo en el apartado anterior, esto nos da que es posible la extracción de $545 \times .05 = 27.2$, o sea 27 iguanas machos, juveniles o crías. El 1.25% sugerido para la explotación de hembras da un total de 6.54, o sea 7 hembras. Si se desea explotar todas las categorías de edad las proporciones relativas de cada estadio o sexo estarán en función de cuantas hembras, machos, juveniles y crías se capturaron durante el estudio.

c) Métodos basados en poblaciones. Los métodos basados en estudios poblacionales son los más adecuados para establecer la cantidad de animales a aprovechar, ya que está basado exclusivamente en los datos poblacionales y no en estimaciones sesgadas por el área de muestreo. Los datos así, provienen directo de las poblaciones a explotar. Al igual que los análisis por recorrido o de área, se basan en técnicas de campo similares a las expuestas en los ejemplos anteriores, pero ahora se tiene la finalidad de capturar y recapturar individuos en un área o volumen de agua determinado, sin importar el tamaño o volumen del área. Los estudios son más largos, pues se requiere la recaptura del mayor número de ejemplares posibles, con el objetivo último de acercarse lo más posible a recapturar todos los ejemplares de la población. Es una herramienta que proporciona información básica de la población, incluyendo tamaño poblacional, con lo que se puede calcular la densidad, estructura de sexos, estructura de edades, e incluso tasas de natalidad y de mortalidad de los individuos que nos conllevan a entender el crecimiento poblacional, y la importancia de cada una de las categorías de edades en las generaciones subsiguientes y en el mantenimiento de la población. Los modelos poblacionales a los que se puede aspirar son muy precisos y ello permitirá hacer un plan de manejo perfecto para facilitar el mejor aprovechamiento de las especies y que al mismo tiempo garantice la persistencia de las poblaciones a largo plazo a partir de un manejo sustentable.

Actualmente se conocen diferentes métodos para conocer la dinámica demográfica de las poblaciones. Una buena y eficiente aplicación del método consiste en un buen planeamiento de tal manera que se puedan obtener todos los datos necesarios de una vez por todas, y así, tal vez con tantita ayuda profesional, hacer cálculos espectaculares con las poblaciones a aprovechar.

Los estudios basados en poblaciones requieren muestreos por censos, capturando y recapturando animales marcados una y otra vez por un periodo de tiempo establecido, generalmente durante un año o durante la época de mayor movilidad de la especie. Se recomienda el sistema de captura al azar en todo el terreno que será sujeto a aprovechamiento sustentable. Esto significa recorridos por todo el terreno capturando y recapturando las iguanas, por un periodo de tiempo definido. De hecho, si los muestreos arriba planteados se llevan a cabo detalladamente y con la toma de datos adecuada y tiempo suficiente, los mismos muestreos de recorrido en franja y por área de los apartados anteriores sirven para obtener parámetros poblacionales demográficos. Los datos que se deben tomar para un buen análisis son: fecha de captura, número de individuo, marca otorgada al individuo, sexo, longitud hocico cloaca, peso, estadio (adulto, juvenil, cría), y se debe señalar si es primera captura o recaptura. Así, los datos solicitados son los mismos que los indicados arriba.

Tamaño de la población. La estimación del tamaño poblacional es el insumo de mayor importancia para un plan de manejo. El método de captura-recaptura consiste en la captura,

marcaje, liberación de los individuos, que, después de cierto tiempo, suficiente para que los individuos marcados se mezclen con el resto de la población, se trate de recapturarlos en un nuevo muestreo. Mediante la relación entre las nuevas capturas y las recapturas se establece la proporción entre los individuos marcados y no marcados. Finalmente, la proporción de individuos marcados a lo largo de diferentes muestreos determinara el tamaño de la población. Para una estimación más realista del tamaño de la población es necesario cumplir con las siguientes condiciones: a) La marca utilizada para distinguir a los individuos debe ser permanente que permitan el reconocimiento individual de los organismos durante todo el periodo del muestreo. La marca debe ser permanente e inconfundible que individualice cada organismo. Se recomienda usar el método de cortes de espinas caudales (unidades derecha y decenas izquierda) señalado arriba; b) Todos los individuos de la población tienen la misma probabilidad de ser capturados, independientemente del sexo, tamaño, edad, condición física y fisiológica o estén marcados o no. Los muestreos al azar buscando detalladamente todos los rincones posibles donde las iguanas se pueden esconder garantiza esta condición. c) La manipulación de los individuos para su captura y marcaje no deberá afectar su supervivencia. El corte de espinas caudales es confiable en ese aspecto; d) Los individuos deberán ser liberados en el mismo sitio donde fueron capturados; y e) después de que los individuos fueron capturados, marcados y liberados, es necesario un periodo amplio que permita la distribución homogénea de los individuos marcados y no marcados entre cada muestreo. El tiempo necesario dependerá de las características de movimiento de la especie. En el caso de iguanas deben ser 15 días, así obteniéndose al menos 24 muestreos en el año. Debe considerarse que al haber cierta territorialidad, será factible encontrar una iguana una y otra vez en el mismo sitio. Debido a que el análisis es sensible al número de recapturas debe hacerse un esfuerzo para maximizarlas. Esto es haciendo que los recorridos sean mas detallados, y cubriendo todo el terreno, aunque cada recorrido total dure varios días. Es muy importante que el esfuerzo de captura sea idéntico en todos los recorridos.

El método más confiable para obtener parámetros poblacionales se conoce como el método de Jolly-Seber, que considera que la población es abierta. Se selecciona este método porque la mayoría de los sistemas terrestres son abiertos; es decir, libres para recibir y dejar salir organismos. Además, permite considerar que la población es natural, por lo que hay nacimientos, muertes, los cuales, se asume, no cambian en el tiempo.

Con el método de Jolly-Seber se puede calcular el tamaño de la población estimada durante un tiempo determinado (N_t), conociendo el número de individuos capturados en cada muestreo (c_t); el número de individuos recapturados en cada muestreo (r_t); y el número de individuos que se liberaron en cada muestreo (l_t).

Para hacer los cálculos deben verse los datos en un cuadro como indica el Cuadro 7. En la columna t van el número de la temporada de muestreo del 1 al último que se hace, en este caso 13. En la columna c_t , va el número de individuos capturados en cada muestreo. En el

ejemplo se capturaron 54 iguanas en el primer muestreo y 146 en el segundo, etc. En la columna r_t va el número de individuos marcados anteriormente y que fueron recapturados en ese muestreo. Como en el primer muestreo no hay recapturas, entonces se pone cero; en el segundo muestreo en cambio, se recapturaron 10 y en el tercero 37. En la columna l_t , se pone el número de iguanas liberadas al final de ese muestreo. En iguanas el valor l_t es normalmente igual al de r_t , ya que no suele haber muertes durante su manejo durante la captura. Cada iguana muerta que pudiese haber hace que el valor de l_t disminuya. La mayor posibilidad de muerte sería si un perro muerde una iguana, o si se exponen al calor y mueran, por ejemplo. Entonces las iguanas muertas cuentan para los cálculos de captura, pero no para los de liberación. En la parte del Cuadro 7 que dice "Recapturas por muestreo de acuerdo en su primera recaptura" se pone el número de recapturas separado de acuerdo en el muestreo en el que se capturaron por primera vez. Así, en el ejemplo, el muestreo 1 no hay recapturas, ya que apenas inicia el estudio; y en el muestreo 2, hay 10 recapturas, pero como todas se marcaron en el muestreo 1, todas se ponen en la columna r_1 . A partir del muestreo 3 la dinámica cambia, ya que se recapturarán individuos marcados tanto en el muestreo 1 como en el 2. Así, en el ejemplo, de las 37 iguanas recapturadas en el muestreo 3, 3 fueron marcadas en el muestreo 1 (valor en la columna r_1 del renglón 3) y 34 en el muestreo 2 (valor en la columna r_2 del renglón 3). Así se debe llenar todo el cuadro hasta colocar los datos obtenidos hasta el final del muestreo.

Para calcular la suma de recapturas procedentes de cada muestreo efectuado (R_t), se suman los datos de cada columna de r_2 a r_{12} . No hay valor de R para la fecha inicial ni para la fecha final (R_1 y R_{13} en el ejemplo). R_t es un valor auxiliar que se usará en cálculos posteriores.

Al igual que R_t , Z_t es un valor auxiliar que representa el número de individuos marcados antes de cada temporada, pero no recapturados en la temporada, sino después; esto es, Z_t es una especie de tasa de recaptura ponderada por temporada. Para calcularlo debe llenarse el Cuadro 8. El Cuadro 8 proviene de los valores calculados en el Cuadro 7 y su cálculo es la parte más complicada del proceso. Así, en cada celda desde r_1 a r_{13} , debe colocarse la suma del valor que hay en la misma celda en el Cuadro 7, más la suma de todos los valores encontrados a la izquierda de esa celda, también en el Cuadro 7.

Las celdas se llenan de la siguiente manera: a) La columna r_1 se llena con las recapturas en cada uno de los muestreos de t_1 a t_{13} , y queda idéntico a la columna r_1 del Cuadro 7. b) Como en el segundo muestreo (t_2) ya hay recapturas del primer muestreo, este mismo valor se pone en la celda de r_2 , igual a 10 en el ejemplo. c) Para el muestreo 3 (t_3), ya hay recapturas de los muestreos 1 y 2 y en la celda r_2 del Cuadro 8, se pone la suma de la celda r_2+r_1 del Cuadro 7; es decir, $34+3 = 37$. d) para el cuarto muestreo (t_4), ya hay recapturas de los muestreos 1, 2 y 3 y en la celda r_3 del Cuadro 8 se pone la suma de la celda $r_3+r_2+r_1$ del Cuadro 7 ($33+18+5 = 56$) y en la celda r_2 la suma de la celda r_2+r_1 del Cuadro 7 ($18+5 = 23$). El resto de las celdas se llenan del mismo modo. Así, la celda r_5 del muestreo 7 (t_7) en el Cuadro 8, lleva la suma del

valor de la celdas $r_5+r_4+r_3+r_2+r_1$ de muestreo t_7 del Cuadro 7, es decir, $34+10+5+6+1 = 56$; y la celda de r_9 del muestreo 11 (t_{11}), lleva la suma de los valores de las celdas $r_9+r_8+r_7+r_6+r_5+r_4+r_3+r_2+r_1$ del Cuadro 7; es decir $16+12+8+4+0+1+3+2+1 = 47$. Para verificar que todos sus valores hayan sido calculados bien, basta notar que los valores de la diagonal son idénticos a los valores de r_t (Cuadro 8 en amarillo).

Cuadro 7: Número de capturas-recapturas realizadas por muestreo.

				Recapturas por muestreo de acuerdo en su primera recaptura												
t	ct	lt	Rt	r1	r2	r3	r4	r5	r6	r7	r8	r9	r10	r11	r12	r13
1	54	54	0	0	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
2	146	143	10	10	0	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
3	169	164	37	3	34	0	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
4	209	202	56	5	18	33	0	/	/	/	/	/	/	/	/	/
5	220	214	53	2	8	13	30	0	/	/	/	/	/	/	/	/
6	209	207	77	2	4	8	20	43	0	/	/	/	/	/	/	/
7	250	243	112	1	6	5	10	34	56	0	/	/	/	/	/	/
8	176	175	86	0	4	0	3	14	19	46	0	/	/	/	/	/
9	172	169	110	0	2	4	2	11	12	28	51	0	/	/	/	/
10	127	126	84	0	0	1	2	3	5	17	22	34	0	/	/	/
11	123	120	77	1	2	3	1	0	4	8	12	16	30	0	/	/
12	120	120	72	0	1	3	1	1	2	7	4	11	16	26	0	/
13	142	132*	95	0	1	0	2	3	3	2	10	9	12	18	35	0
Rt				--	80 R ₂	70 R ₃	71 R ₄	109 R ₅	101 R ₆	108 R ₇	99 R ₈	70 R ₉	58 R ₁₀	44 R ₁₁	35 R ₁₂	--

Valores: **t** = número de la temporada de muestreo; **ct** = número de individuos capturados en cada muestreo; **lt** = número de individuos liberados en ese muestreo; **rt** = número de individuos recapturados en cada muestreo; de **r1** a **r13** número de individuos recapturados en cada muestreo distribuidos en función de su primera captura. Valores de **Rt** (de R₂ a R₁₂) = suma de recapturas marcadas por muestreo; * valor de la última liberación que no se usa en los análisis. Valores tomados de (Badii et al., 2012).

Para estimar los valores de Z_t se suman los datos de cada columna, con la excepción del primer dato superior de la columna (marcado en amarillo idéntico al valor r_t) colocándose el valor de Z_t de 2 a 12 en el último renglón, nótese que la numeración de Z queda corrida en el cuadro, por ejemplo Z_2 queda en la columna de r_1 . Debido a que ningún individuo fue marcado antes del muestreo 1 nunca contarán las sumatorias para Z_1 y tampoco existe valor del último muestreo ya que ningún individuo fue recapturado después del último muestreo, en el ejemplo Z_{13} .

Cuadro 8: Individuos marcados y recapturado en muestreos subsiguientes.

t	ct	lt	Rt	Recapturas por muestreo														
				r1	r2	r3	r4	r5	r6	r7	r8	r9	r10	r11	r12	r13		
1	54	54	0	0														
2	146	143	10	10	0													
3	169	164	37	3	37	0												
4	209	202	56	5	23	56	0											
5	220	214	53	2	10	23	53	0										
6	209	207	77	2	6	14	34	77	0									
7	250	243	112	1	7	12	22	56	112	0								
8	176	175	86	0	4	4	7	21	40	86	0							
9	172	169	110	0	2	6	8	19	31	59	110	0						
10	127	126	84	0	0	1	3	6	11	28	50	84	0					
11	123	120	77	1	3	4	7	7	11	19	31	47	77	0				
12	120	120	72	0	1	6	5	6	8	15	19	30	46	72	0			
13	142	132*	95	0	1	1	3	6	9	11	21	30	42	60	95	0		
Zt				14	57	71	89	121	110	132	121	107	88	60	--	--		
				Z ₂	Z ₃	Z ₄	Z ₅	Z ₆	Z ₇	Z ₈	Z ₉	Z ₁₀	Z ₁₁	Z ₁₂				

Valores: t = número de la temporada de muestreo; ct = número de individuos capturados en cada muestreo; lt = número de individuos liberados en ese muestreo; rt = número de individuos recapturados en cada muestreo; de r1 a r13 número de individuos recapturados en cada muestreo distribuidos en función de su primera captura. Valores de Zt = número de individuos marcados antes de cada temporada y no recapturados en la temporada, sino después. * valor de la última liberación que no se usa en los análisis. Valores tomados de (Badii et al., 2012).

A partir del cálculo de los valores de campo, ct, lt y ,rt y los valores calculados de Rt y Zt, se puede calcular el tamaño poblacional Nt para cada muestreo. Para esto necesitan hacerse algunos cálculos adicionales y llenar el Cuadro 9.

El tamaño poblacional $N_t = M_t / \alpha_t$, para lo necesitamos saber el valor tanto de M_t como de α_t . $M_t = (l_t Z_t / R_t) + r_t$. Entonces M_t en la segunda temporada (t2) será $M_{t_2} = (143 \times 14 / 80) + 10 = 35.02$ y M_t en el muestreo 3 sería $M_{t_3} = (164 \times 57 / 70) + 37 = 170.5$. Para calcular α_t se requiere la expresión $\alpha_t = r_t / ct$, que es la proporción de recapturas en función de las capturas en una temporada de muestreo. Así, α_t en el muestreo 2 (t2), será $\alpha_{t_2} = 10 / 146 = 0.068$ y en el muestreo 3 (t3) será $\alpha_{t_3} = 37 / 169 = 0.218$. Ya estimados los valores de M_t y α_t , se puede estimar el tamaño poblacional por temporada de muestreo. Así, N_t para la temporada 2 será $N_{t_2} = 35.02 / 0.068 = 515$ iguanas; y $N_{t_3} = 170.5 / 0.218 = 782$ iguanas. El valor de N_t es muy sensible al valor de α_t por lo que puede haber diferencias de unos cuantos individuos estimados más o menos dependiendo de la aproximación decimal o centesimal. Por eso hay diferencias en los resultados estimados en el texto y en el Cuadro 3. Hagan la prueba.

Cuadro 9. Valores poblacionales estimados a partir de los muestreos (en amarillo), los cálculos de los valores auxiliares de los cuadros 1 y 2 (en azul) y nuevos valores (en blanco).

t	ct	rt	Lt	Rt	Zt	Mt	αt	Nt	ϕt	$Nt^{\wedge} \phi t$	Nt/ct	V	EE
1	54	0	54	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2	146	10	143	80	14	35.0	0.07	511.4	1.01	519.0	3.5	27301.0	309.2
3	169	37	164	70	57	170.5	0.22	779.0	0.87	675.4	4.6	18975.5	295.7
4	209	56	202	71	71	258.0	0.27	962.9	0.56	542.8	4.6	21905.9	317.7
5	220	53	214	109	89	227.7	0.24	945.3	0.84	790.3	4.3	17353.5	273.1
6	209	77	207	101	121	325.0	0.37	882.1	0.79	697.0	4.2	10232.3	207.8
7	250	112	243	108	110	359.5	0.45	802.5	0.65	522.4	3.2	5961.2	138.3
8	176	86	175	99	132	319.3	0.49	653.5	0.98	643.6	3.7	4103.1	123.4
9	172	110	169	70	121	402.1	0.64	628.8	0.69	431.5	3.7	3946.8	120.1
10	127	84	126	58	107	316.4	0.66	478.4	0.88	423.1	3.8	2627.1	99.5
11	123	77	120	44	88	317.0	0.63	506.4	0.77	390.6	4.1	4335.7	133.6
12	120	72	120	35	60	277.7	0.60	462.9	--	--	3.9	4877.0	137.2
13	142	95	132*	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Modelos de perturbación prospectiva. La mejor manera de establecer un manejo adecuado de las poblaciones es conociendo su dinámica poblacional; es decir, cuántos individuos forman la población, cuántos son hembras, cuántas de ellas se están reproduciendo, cuantas son adultas, cuantas crías tienen y cuantas de esas crías son hembras y cuantas de ellas sobreviven para llegar a reproducirse.

Por lo general la información recopilada en el campo se manipula a través de tablas de vida. Las tablas de vida se incluye básicamente información de las hembras, debido a que la fecundidad es un parámetro que influye directamente en el crecimiento de la población. Para comenzar, la población se agrupa en clases de tamaño o categorías de edad. La manera más fácil es estableciendo rangos de tamaño por categoría de edad asignada; por ejemplo, en crías, juveniles, adultos jóvenes y adultos viejos. Estas categorías dependen de la especie y deben establecerse a priori. Así, los valores serán mas pequeños en *Cachrix* y ctenosauras pequeñas, comparando al resto de las iguanas que tienden a ser mas grandes. En *C. pectinata*, una iguana grande, la clase de crías corresponde a iguanas de 5 a 8 cm de LHC, la clase juvenil de 9 a 26 cm, clase de adultos jóvenes de 26 cm a 30 cm y adultos viejos de más de 30 cm. Los tamaños de estas categorías de edad pueden variar en la misma especie dependiendo de la región, por lo que se deben estimar en cada sitio.

Del número de organismos de cada clase se obtiene el número de hembras que se reproducen y la talla mínima y máxima de las hembras reproductoras, que deben quedar agrupadas en la categoría de adultos jóvenes y adultos viejos. Después, se debe establecer cuantos huevos pone cada iguana de acuerdo en su categoría de tamaño de manera anual. Es normal en reptiles que entre mas grandes sean las hembras, mas huevos se ponen. En el Cuadro 10 se muestran cuatro clases de talla para una población hipotética de iguanas, donde X son las clases por intervalos de talla, N_x el número de hembras por clase, N es la suma total de hembras contadas en el estudio ($= N_{x1} + N_{x2} + N_{x3} + N_{x4}$) y h el número promedio de huevos por clase. Con esta información se puede calcular m_x que es el valor de la fecundidad promedio por clase y es igual a la división de h/N .

Cuadro 10. Tabla de vida simple estructurando cuatro categorías de tamaño, tres de ellas reproductivas, con el fin de calcular R_0 , que es la tasa reproductiva neta de la población. X = clases de edad; N_x = número de hembras por clase; N = número total de hembras; h = número de huevos; m_x = fecundidad promedio por clases; l_x = probabilidad de sobrevivencia a la siguiente categoría de edad; D_x = número de hembras que mueren en la categoría de edad y T = tiempo en categorías de edad que se requieren para producir una hembra reproductora.

Categorías	X	N_x	h	m_x	l_x	D_x	$l_x m_x$	$X l_x m_x$	
Juveniles	1	62	0	0	1	44	0	0	
Adultos 1	2	18	8	0.444	0.29	2	0.12876	0.25752	
Adultos 2	3	16	8	0.5	0.258	14	0.129	0.387	
Adultos 3	4	2	8	4	0.032	2	0.128	0.512	
N =		98				R₀ =	0.38576	Suma $X l_x m_x$ =	1.15652
								T =	2.9980

En la tabla de vida se puede distinguir a la clase donde se presenta la primera reproducción; es decir, la talla mínima a la que las hembras comienzan a reproducirse (clase $X = 2$ en el ejemplo) y la talla en la que ocurre la última reproducción (clase $X = 4$). A partir de estos datos se pueden estimar las probabilidades que tiene una hembra de sobrevivir de su nacimiento hasta la siguiente clase de edad (l_x). La probabilidad de sobrevivencia de una categoría de edad (l_x) se estima dividiendo N_x/N y el número de hembras que mueren de una clase a la siguiente D_x se estima mediante la ecuación $N_x - N_{x+1}$, D_x de la categoría $X1$ es igual a la N_x de la categoría 1 menos la N_x de la categoría $X2$ y así sucesivamente. Estimada la probabilidad de sobrevivencia y el número de muertes de una clase a otra es posible obtener la tasa reproductiva neta (R_0) al sumar todos los valores del resultado de la multiplicación de la sobrevivencia (l_x) por la fecundidad (m_x); así $R_0 = 0.38576$.

El valor de la tasa reproductiva neta (R_0) nos explica cuántas hembras puede producir una hembra a lo largo de su vida. Si el valor de $R_0 = 1$, nos indica que la población está en equilibrio; si ocurre lo contrario $R_0 < 1$ es indicativo de que la población está disminuyendo,

debido a que las hembras que han salido del área de estudio no son remplazadas. En nuestro ejemplo, el valor de R_0 es muy pequeño, por lo tanto, la población está decreciendo debido a que no hay remplazo de las hembras que mueren, migran o se extraen.

Un valor importante que también aporta la tabla de vida es el tiempo generacional (T) que explica el tiempo promedio que tarda una hembra en originar a otra hembra. Este valor se obtiene multiplicando el valor de la clase X por el valor de $l_x m_x$ en cada clase, sumando los valores resultantes y dividiendo el total entre el valor de R_0 . En el ejemplo $T = 2.9980$, que nos indica que en el ejemplo las hembras tendrán que pasar tres categorías de tamaño en promedio para dar a luz a una cría hembra; o sea los juveniles deben llegar a la categoría 2 y los de la categoría 2 a la 4.

Finalmente, para completar la tabla de vida se calcula la fecundidad del estado específico (f_{ij}) que describe el número de crías producidas por clase. En el ejemplo se obtuvieron 83 huevos, 72 para la categoría 3 y 11 para la categoría 4, de los cuales nacieron 63 crías, 56 crías para la categoría 3 y 7 para la categoría 4 (Cuadro 11). Así, Primero se debe obtener el valor promedio de huevos por categoría (\bar{N}_h) que es el número de huevos (N_h) dividido entre el número de hembras (N_x) por categoría. Segundo, se debe obtener el número promedio de crías vivas (\bar{N}_c), que se obtiene dividiendo el número de crías vivas (N_c) entre el número de hembras (N_x) por categoría (Cuadro 11). Tercero, se debe obtener la sobrevivencia de los huevos ϕ_h dividiendo el número total de crías vivas por categoría (N_c) entre el número total de huevos por categoría (N_h). Finalmente, la proporción de hembras por clase es igual a 0.5 ya que en el ejemplo se asume que la proporción hembras y machos es 1:1. Así, (f_{ij}) se obtiene multiplicando el número promedio de huevos (\bar{N}_h) por el número promedio de crías vivas (\bar{N}_c), por la sobrevivencia de crías (ϕ_h), por la proporción sexual de hembras (PS). La fecundidad del estado específico se refiere al número de crías hembras que sobreviven al nacimiento por hembra adulta en el sitio de aprovechamiento y nos da una buena idea del número de hembras reales que sustituirán a las hembras del área de aprovechamiento, si estas sobreviven al estado adulto.

Cuadro 11. Valores para el cálculo de la fecundidad del estado específico (f_{ij}). X = clase de edad, N_h = total de huevos, N_c = número total de crías, \bar{N}_h = promedio de huevos, \bar{N}_c = promedio de crías, ϕ_h = sobrevivencia de huevos, PS = proporción de sexo (hembras).

X	N_x	N_h	N_c	\bar{N}_h	\bar{N}_c	ϕ_h	PS	f_{ij}
3	16	72	56	4.5	3.5	0.778	0.5	5.4
4	2	11	7	5.5	3.5	0.636	0.5	6.1
Total	18	83	63					

Análisis de perturbación prospectiva. Además de las tablas de vida, los análisis de perturbación prospectiva nos permiten reconocer que aspectos de la historia de vida de la población que se analiza tienen más efecto sobre la tasa de crecimiento poblacional. La información más relevante

que se obtiene a partir de dichos modelos es la tasa finita de crecimiento poblacional λ y el valor reproductivo para cada clase o estadio. Las estimaciones de cada tasa vital como el crecimiento, la fecundidad y la sobrevivencia que se obtuvieron de la tabla de vida en el cuadro 10 se acondicionan dentro de un modelo matricial llamado matriz de Lefkovitch que permite clasificar a los organismos por estadio, tamaño, edad y sus combinaciones. Además, permite modelar la permanencia de un organismo en la misma categoría de edad o su transición a la siguiente (crecimiento). A partir de los datos de la población del cuadro 10, trabajando y después del análisis matricial se obtendría la siguiente tabla donde en color rojo aparecen los valores de sobrevivencia, con negro los valores de crecimiento y con azul los de fecundidad. Para detalles metodológicos referirse a Crouse et al. (1987); Caswell (2001) y Páez et al. (2015).

Cuadro 12. Disposición típica de los valores demográficos en una matriz de Lefkovitch. Valores estimados de sobrevivencia (rojo), fecundidad (azul) y crecimiento (verde). Valores obtenidos a partir de los datos del Cuadro 10.

Clase	1	2	3	4
1	0.174	0	0.93	2.006
2	0.746	0.759	0	0
3	0	0.111	0.872	
4	0	0	0.039	0.929

Los análisis de perturbación prospectiva predicen las consecuencias de la manipulación de las poblaciones (como puede ser el aprovechamiento) o de los cambios ambientales (por ejemplo, cambio climático o catástrofes) sobre los valores demográficos (crecimiento, reproducción y sobrevivencia) que repercute en la tasa de crecimiento poblacional en cada una categoría de tamaño o clase de edad. Dentro de los análisis prospectivos, el análisis de sensibilidad mide la sensibilidad del crecimiento de una población a ciertos cambios de las tasas vitales. A partir de análisis de sensibilidad se pueden realizar simulaciones de los cambios de una o más tasas vitales y su efecto en la población. Para detalles metodológicos, referirse a Tuljapurkar (1982). El Cuadro 13 se muestran los resultados del análisis de sensibilidad referentes al Cuadro 12.

Cuadro 13. Valores de sensibilidad estimados para sobrevivencia (rojo), fecundidad (azul) y crecimiento (verde) del ejemplo del cuadro 10. En amarillo se encierran los valores más altos que indican ser más sensibles a la perturbación. Se observa que la población es más sensible al cambio de la tasa de crecimiento de la clase 2 al pasar a la clase 3 y de la clase 3 al pasar a la clase 4.

Clase	1	2	3	4
1	0.122		0.093	0.016
2	0.16	0.305		
3		1.058	0.427	
4			0.837	0.145

De manera práctica se consideraría que estas dos clases intermedias tienen un gran efecto sobre la tasa finita de crecimiento, ya sea debido a la muerte, migración de los individuos, o aprovechamiento de estas clases. Por lo que, para su uso o conservación se tendrá que poner mayor atención en ambas clases para garantizar la transición de individuos jóvenes a el estado adulto y reproductivo.

El análisis de elasticidad por su parte permite cuantificar el cambio proporcional del crecimiento finito de población por efecto del cambio proporcional en cada categoría, y permite realizar comparaciones relativas entre organismos, poblaciones y especies sobre de las contribuciones de cada valor demográfico al crecimiento poblacional. El Cuadro 14 muestra que la sobrevivencia tiene mayor impacto en las clases dos y tres, por lo que posiblemente los individuos presentan un efecto del entorno que nos permite sobrevivir y crecer para transitar a la siguiente categoría.

Cuadro 14. Valores de elasticidad estimados para sobrevivencia (rojo), fecundidad (azul) y crecimiento (verde) del ejemplo del cuadro 10. En amarillo se encierran los valores más altos que indican tener más efecto sobre el crecimiento poblacional. La sobrevivencia de las clases 2 y 3 presentan los valores más altos y se recomendaría mantener la sobrevivencia de estas clases con la finalidad de generar más hembras reproductoras que favorezcan el reclutamiento de nuevos individuos y el crecimiento poblacional.

Clase	1	2	3	4
1	0.018		0.075	0.027
2	0.104	0.201		
3		0.104	0.323	
4			0.028	0.117

Una vez que los parámetros demográficos que más contribuyen a la dinámica poblacional han sido identificados, los cambios en el tamaño de la población a lo largo del tiempo se pueden simular mediante gráficos que predicen el cambio de la tasa finita de crecimiento (λ) a partir de un modelo que no presenta tasa de extracción alguna. Como se dijo anteriormente, el crecimiento de la población depende del tamaño de las hembras que entre más grandes producen más huevos, del cambio de edad donde las hembras pasan a ser más grandes, del número de huevos que se producen anualmente, y del número de crías que sobreviven. Así, si el aprovechamiento es sobre los adultos, o las crías o está sujeto a diferentes intensidades, el futuro de la población puede definirse, o bien creciendo, manteniéndose o extinguiéndose. La figura 4, muestra diferentes tendencias de una población de hembras sujeta a diferentes condiciones y tasas de extracción.

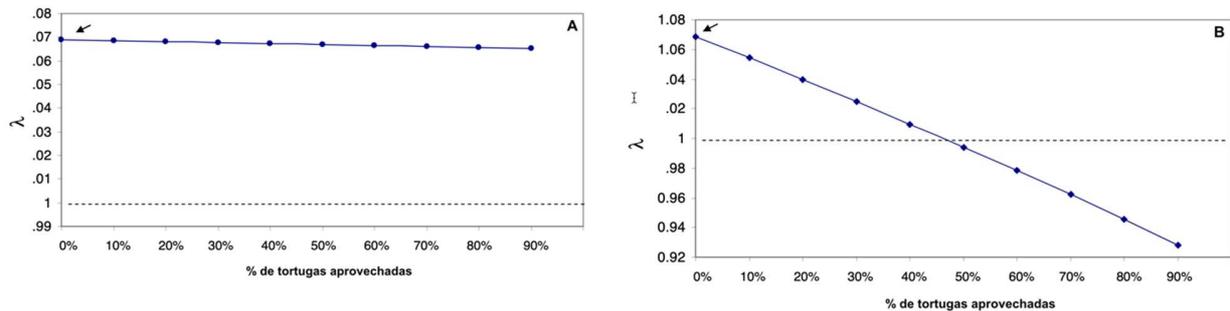


Figura 4. A. Cambio de la tasa intrínseca de crecimiento poblacional en función del porcentaje de iguanas extraídas en diferentes proporciones en diferentes categorías de edad: (A) sobre organismos muy grandes (clase 4); y B) sobre organismos medianos y grandes (clases 2, 3 y 4). La línea punteada representa a la Lambda que mantiene a la población en equilibrio (sin crecer ni decrecer) debajo de este punto la población tendrá a la extinción. La flecha muestra el valor original de Lambda.

En el primer caso, (Figura 4 A) aun aprovechándose el 90 % de los individuos más grandes, pertenecientes a la categoría 4, la población mantiene valores de Lambda muy por encima del equilibrio; esto es, no manifestará un decremento poblacional alguno a futuro. Pero, por lo contrario, en un mal manejo, se aprovechan más del 40% de las iguanas del área de aprovechamiento de las categorías de edad 2, 3 y 4, la población tenderá a la extinción. Así, la ventaja de hacer estas proyecciones es que nos permitirá saber con detalle cómo se comportará la población al largo plazo a diferentes tasas de aprovechamiento y nos permitirá enfocar el aprovechamiento directamente a las clases de edad o de tamaño que no repercutan en el crecimiento poblacional.

Lecturas recomendadas aplicadas al monitoreo de iguanas en vida libre

- Aguirre-León, G. 2011. Métodos de estimación, captura y contención de anfibios y reptiles. Manual de Técnicas para el Estudio de la Fauna, 1, 48-65.
- Badii, M.H., A. Guillen, J. Landeros, E. Cerna, Y. Ochoa y J. Valenzuela. 2012. Sampling via Capture-Recapture methods. Daena: International Journal of Good Conscience. 7(1) 97-131.
- Buckland, S. T., D. R. Anderson, K. P. Burnham y J. L. Laake. 1993. Distance sampling: estimating abundance of biological populations. Chapman & Hall, London.
- Caswell H. 1978. A general formula for the sensitivity of population growth rate to changes in life history parameters. Theoretical Population Biology, 14(2), 215–230.
- Caswell, Hal. 2001. Matrix Population Models: Construction, Analysis, and Interpretation. Sinauer Associates. Sunderland, Massachusetts.
- Caswell, H. y Takada, T. 2004. Elasticity analysis of density-dependent matrix population models: The invasion exponent and its substitutes. Theoretical Population Biology, 65(4), 401–411.
- Crouse, D. T., Crowder, L. B. y Caswell, H. 1987. A stage-based population-model for loggerhead sea-turtles and implications for conservation. Ecology, 68, 1412–1423.

- Karant, K. U., A. M. Gopalswamy, N. S. Kumar, S. Vaidyanathan, J. D. Nichols y D. I. MacKenzie. 2011. Monitoring carnivore populations at the landscape scale: Occupancy modelling of tigers from sign surveys. *Journal of Applied Ecology*, 48(4), 1048-1056.
- Kéry, M., G. Guillera-Arroita y J. J. Lahoz-Monfort, (2013). Analyzing and mapping species range dynamics using occupancy models. *Journal of Biogeography*, 40(8), 1463-1474.
- Kéry, M., Gardner, B. y C. Monnerat. (2010). Predicting species distributions from checklist data using site-occupancy models. *Journal of Biogeography*, 37(10), 1851-1862.
- Lemos-Espinal J.A., Rojas-González, R. y Jaime, Zúñiga. (2005). Técnicas para el estudio de poblaciones de fauna silvestre. Facultad de Estudios Superiores-Iztacala. 157 págs.
- MacKenzie, D. I., J. D. Nichols, J. E. Hines, M. G. Knutson y A. B. Franklin. 2003. Estimating site occupancy, colonization, and local extinction when a species is detected imperfectly. *Ecology*, 84(8), 2200-2207.
- MacKenzie, D. I., J. D., Nichols, G. B. Lachman, S. Droege, J. Andrew Royle y C. A. Langtimm. 2002. Estimating site occupancy rates when detection probabilities are less than one. *Ecology*, 83(8), 2248-2255.
- Medina Mantecón, W 2005. Demografía de la iguana negra (*Ctenosaura pectinata*) de la región Nizanda Zapote, Oaxaca y sus implicaciones en la conservación y manejo. Tesis de Licenciatura para obtener el título de Biólogo en la Facultad de Ciencias, UNAM.
- Medina Mantecón, W. 2009. Efectos del cambio en los parámetros demográficos en el crecimiento poblacional de la iguana negra (*Ctenosaura pectinata*). Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias Biológicas (Biología Ambiental). Posgrado en Ciencias Biológicas de la UNAM.
- Medina Mantecón, W., González Monfil, G., Álvarez Ávila, F., Aguirre Hidalgo, V. y V. H. Reynoso. 2004. Tabla de vida de una población de iguana negra (*Ctenosaura pectinata*) en Nizanda-Zapote, Oaxaca y sus implicaciones en la conservación de las iguanas. Resumen en extenso. VII Reunión Nacional sobre Iguanas, Subcomité Técnico Consultivo para la Conservación, Manejo y Aprovechamiento Sustentable de las Iguanas en México, Universidad del Mar. Puerto Escondido. Págs. 116-122.
- Medina Mantecón, W. y Reynoso, V. H. 2005. Uso de modelos demográficos como estrategias para la conservación de poblaciones silvestres. Resúmenes en extenso de la VIII Reunión Nacional sobre Iguanas, Comisión Forestal del Estado de Michoacán, Lázaro Cárdenas, Mich. p. 73-76.
- Medina-Mantecón, W., Reynoso V. H. 2008. Explotación sostenida en vida silvestre. Págs. 41-47 en Reynoso, V. H.; Medina Mantecón, W. (eds.). Memorias y Resúmenes en Extenso de la XI Reunión Nacional sobre Iguanas, Subcomité Técnico Consultivo para la Conservación, Manejo y Aprovechamiento Sustentable de las Iguanas en México. Puebla, Puebla.

- Michael, D. R., Ikin, K., Crane, M., Okada, S., y D. B. Lindenmayer. 2017. Scale-dependent occupancy patterns in reptiles across topographically different landscapes. *Ecography*, 40(3), 415-424.
- Orozco Sánchez E. C., Corona Vargas M. C., Matus Velásquez R. A., Martínez Manuel M. L., Álvarez López R., Reynoso Rosales V. H. 2007. Dinámica poblacional de la iguana negra (*Ctenosaura pectinata*) durante un ciclo anual en la región de cerró Tortuga en Ixhuatán, Oaxaca. Pág. 56-59. Memorias de la X Reunión Nacional sobre Iguanas, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Secretaría del Campo, SEMARNAT, Parque Ecoturístico Cañón del Sumidero, SECTUR, 106 p.
- Pollock, K., Nichols, J., Brownie, C. y J. Hines. 1990. Statistical inference for Capture-Recapture experiments. *Wildlife Monographs*, 107: 3-97.
- Reynoso, V. H. y Medina Mantecón, W. (Eds.). 2010. Programa y Resúmenes en extenso de la XIII Reunión Nacional sobre Iguanas. Hermosillo, Sonora. 13 y 14 de noviembre de 2010. Subcomité Técnico Consultivo para la Conservación, Manejo y Aprovechamiento de las Iguanas en México, CEES y Prescott College. 160 págs. Disponible en: <http://www.subcomitedeiguanas.org/publicaciones.htm>
- Rodríguez, P., Ochoa-Ochoa, L. M., Munguía, M., Sánchez-Cordero, V., Navarro-Sigüenza, A. G., Flores-Villela, O. A. y M. Nakamura, M. 2019. Environmental heterogeneity explains coarse-scale β -diversity of terrestrial vertebrates in Mexico. *PLoS one*, 14(1), e0210890.
- Royle, J. A., R. B. Chandler, C. Yackulic y J. D. Nichols. 2012. Likelihood analysis of species occurrence probability from presence-only data for modelling species distributions. *Methods in Ecology and Evolution*, 3(3), 545-554.
- Sánchez, O. 2011. Evaluación y monitoreo de poblaciones silvestres de reptiles. Págs. 83-120, en Sánchez. O., Zamorano, P., Peters, E. y H. Moya (eds.), Temas sobre conservación de vertebrados silvestres en México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, D. F.
- Sutherland, W. J. (ed.). (2006). *Ecological census techniques: A handbook*. Cambridge University Press, Cambridge, 143-147.
- Tuljapurkar, S. D. 1982. Population dynamics in variable environments. II. Correlated environments, sensitivity analysis and dynamics. *Theoretical Population Biology*, 21(1), 114-140.
- Urbina-Cardona, J. N., Bernal, E. A., Giraldo-Echeverry, N., & Echeverry-Alcnebra, A. (2015). El monitoreo de herpetofauna en los procesos de restauración ecológica: Indicadores y métodos. Págs. 134-147 en Aguilar Garavito, M y W. Ramírez (eds.), Monitoreo a procesos de restauración ecológica, aplicado a ecosistemas terrestres. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D.C., Colombia, 134-147.