

Distribución de 6 especies de frutales nativos en el Dpto. de Loreto. Una aproximación al análisis por modelamiento y simulación.

José Sanjurjo Vílchez

Resumen

Reportamos los resultados obtenidos en el ensayo de modelamiento y simulación en la región Loreto ejecutado en el marco del proyecto “Desarrollo y adaptación de herramientas de modelamiento y simulación de distribución de especies de frutales nativos en Loreto y San Martín”, para ello se utilizaron datos de ubicación (latitud/longitud) de 888 unidades muestrales en este departamento para las especies *Garcinia macrophylla* Mart. (charichuelo liso), *Garcinia madruno* (charichuelo rugoso), *Oenocarpus bataua* Mart (ungurahui), *Plinia clausa* (anihuayo), *Spondias mombin* L. (ubos), *Theobroma subincanum* Mart. (cacahuillo). Estos datos fueron procesados con el software DIVA-GIS a través de la ejecución de la alternativa “Bioclim/Domain” de la opción “Modeling”, aplicándose el método de análisis “Predict”.

Los resultados obtenidos en el estudio de la distribución espacial de las muestras, en la región Loreto exhiben una variabilidad significativa en el número de ejemplares colectados por especies, en tanto que a nivel de provincias la colecta manifiesta una concentración importante en la provincia de Maynas, mientras que a nivel de distrito tal concentración se muestra en el distrito de San Juan Bautista. Así mismo, el análisis por áreas de muestreo, revela que la zona cercana a la carretera Iquitos – Nauta ha sido la mas muestreada.

Se ensayaron cuatro escenarios por cada especie: a) Escenario Climático Actual: Aplicación de variables bioclimáticas; b) Escenario Climático Actual + Variables Físicas: A las variables bioclimáticas se adiciona capas de información física espacial; c) Escenario Climático Futuro: aplicación de las variables bioclimáticas al año 2020; d) Escenario Climático Futuro + Variables Físicas: A las variables bioclimáticas se adiciona capas de información física espacial.

Los resultados del análisis por Modelamiento y Simulación de la Distribución de especies, que son categorizados en 5 clases (bajo, medio, alto, muy alto y excelente) agrupados en colores, muestran que las áreas (píxeles) seleccionadas en un escenario climático actual, se ven reducidas en un escenario climático futuro hasta en un 54,77 %. Por otro lado, al incluir variables físicas de Fisiografía, Geología, Geomorfología; los píxeles de una clase tienden a cambiar de clasificación hacia el nivel inmediato inferior, en tal sentido las áreas clasificadas como excelentes tienen propensión a desaparecer.

Palabras Clave: Amazonia, Modelamiento, Simulación, DIVA-GIS, SIG, Frutales nativos

1. Introducción

Actualmente la Amazonía Peruana enfrenta numerosos problemas que son generados principalmente por la intervención indiscriminada sobre los recursos de flora, fauna y de recursos naturales no renovables como el oro, el petróleo, entre otros. Esta

intervención viene reduciendo significativamente la gran Biodiversidad existente en la región.

La obtención de datos suficientes que permitan el análisis objetivo del comportamiento de tal Biodiversidad significa ejecutar numerosos inventarios y muestreos con la finalidad de cubrir el mayor espacio posible del territorio; no obstante, llevar a cabo esta tarea es materialmente imposible por cuanto la extensión de la amazonía (aprox. 75 millones de ha) hace imposible el conseguir recursos financieros suficientes para cumplir con tal labor.

Sin embargo, mediante el modelamiento y la simulación es posible generar aproximaciones que permiten analizar e interpretar el comportamiento de las especies y entender la complejidad de las interacciones entre ellas; proporcionando las bases para el diseño de experimentos y muestreos de alta calidad, reduciéndose, en consecuencia, los costos financieros.

Cada especie sobre nuestro planeta ocupa una distribución geográfica única que es el lugar donde los miembros de varias poblaciones viven, se alimentan y reproducen. Algunas especies tienen amplia distribución geográfica que se extiende por varios continentes en tanto que otras especies pueden tener una distribución geográfica restringida a una pequeña área en un solo continente (Pidwirny, 2006).

La amplia variedad de las formaciones vegetales de la Amazonía peruana, que han sido clasificadas y mapeadas por diversos autores tal como Josse; et. al. 2007; Encarnación; et. al. 2004, al ser el resultado de las relaciones existentes entre una extensa variedad de factores bióticos y abióticos (clima, fisiografía, suelos, temperatura, etc.) dejan en evidencia la heterogeneidad de los ecosistemas existentes en esta región y, consecuentemente, la de especies.

Un modelo es una abstracción o representación formal de un sistema o proceso; es decir que representa algún aspecto particular de la realidad convirtiéndose en un referente de la misma, que permite a los usuarios del modelo comprender e interactuar con la realidad, aunque de forma simplificada y exenta de la complejidad y riesgos potenciales del mundo real (Lahoz-Beltrá, 2009).

Simulación es el uso de un modelo para imitar, o describir paso a paso, el comportamiento del sistema que estamos estudiando. Los modelos de simulación están compuestos de una serie de operaciones aritméticas y lógicas que, en conjunto, representan la estructura (el estado) y el comportamiento (el cambio de estado) del sistema de interés (Grant, 2001).

En el estudio de sistemas dinámicos no siempre se utiliza la simulación. Hay muchos métodos para el modelado de tales sistemas y que no involucran la simulación, por cuanto implican la solución a un sistema cerrado (como un sistema de ecuaciones lineales). La simulación es a menudo indispensable en los casos siguientes: 1) el modelo es muy complejo con muchas variables y componentes interactuantes, 2) las relaciones de la variables subyacentes no son lineales, 3) el modelo contiene variables aleatorias, 4) el resultado del modelo debe ser visual tal como en las animaciones en 3D por computadora (Fishwick, 2010).

Hoy en día la disponibilidad de los recursos computacionales y de las tecnologías de comunicación posibilitan la generación de modelos, simulaciones y herramientas de soporte de gran calidad para los agentes de decisión. Sin embargo, el modelamiento de la biosfera considerando el gran número de componentes bióticos y abióticos que exhibe sigue siendo un gran desafío, pues al tratar de modelar diversas escalas y resoluciones, demandará de arquitecturas computacionales sofisticadas y acceso a recursos distribuidos, en tanto se incorporen nuevas variables. Los sistemas de simulación deben confirmar la flexibilidad de sus herramientas de software para adaptarse a la estructura especial y a los datos específicos de los complejos sistemas medioambientales (Lux y Sydow, 2005).

La actual crisis de extinción de especies requiere de acciones extraordinarias para salvar la amplia variedad de vida sobre la tierra. Debido a que los fondos para la conservación son limitados, los gobiernos, donantes y grupos de conservación deben ser estratégicos y designar la mayor cantidad de recursos para proteger las áreas ricas en biodiversidad (Olson & Dinerstein, 1998).

La Amazonía es una de las más importantes reservas genéticas y de agua dulce de la Tierra. Algunos científicos se atreven a calcular que alberga en su inmenso territorio entre 60 y 80% de todas las especies y cerca del 20% del agua dulce no congelada del planeta. La Amazonía es también muy rica en biodiversidad por unidad de área (la llamada biodiversidad alfa) y en especies endémicas (aquellas restringidas a un área muy pequeña). Los bosques más ricos de toda la cuenca se ubican en la llamada Amazonía andina, situada en su sección más occidental, donde se encuentran algunos de los "puntos calientes" de biodiversidad o *hotspots* más importantes del planeta (Alvarez, 2006)

La comunidad científica que trabaja en biodiversidad, ecología y conservación ha desarrollado herramientas muy potentes capaces de modelar la distribución potencial de las especies biológicas. Estas herramientas son conocidas como "modelos de distribución de especies" (Species distribution models, con el acrónimo SDMs), "modelos predictivos de distribución del hábitat" (predictive habitat distribution models), "modelos de idoneidad del hábitat" (habitat suitability models, con el acrónimo HSMs), o "modelos de nicho ecológico" (Benito, 2007).

La integración de los modelos de distribución de especies (SDM) con los SIG ofrece muchas perspectivas para el análisis de la biodiversidad, pues el continuo perfeccionamiento del soporte para la modelización del medio ambiente, la optimización constante de las herramientas para compartir y administrar grandes volúmenes de datos así como para visualizar y difundir resultados a través de mejores instrumentos de elaboración de las representaciones SIG, permiten obtener productos más apropiados a las nuevas necesidades. Sin embargo, persiste la debilidad fundamental para abordar eficazmente los problemas generalizados entre los SIG y la modelización de procesos ambientales, incluyendo la variabilidad temporal, la escala, la representación, la exactitud, la visualización y el contexto espacial (Goodchild, 2002).

El enfoque representativo (mapa), aceptado por un número creciente de conservacionistas, se ha establecido sólidamente en biología de la conservación. Integra el objetivo de mantener la diversidad de especies (enfoque tradicional de la conservación de la biodiversidad) con otro nivel de acción para la conservación, la

preservación de ecosistemas y procesos ecológicos distintivos (Olson & Dinerstein, 1998).

El mapa digital que expresa la distribución espacial del hábitat tiene distintas utilidades según su campo de aplicación: a) diseño de reservas para conservación, b) diseño de muestreos en campo para localizar poblaciones "ocultas" de plantas o animales, c) estudio del potencial invasor de una especie, d) predicción de los cambios que puede provocar el cambio global en la distribución de las especies, e) estudio de los patrones espaciales de la biodiversidad, f) predicción del patrón geográfico de propagación de enfermedades infecciosas, etc. (Benito, 2007).

Hay diversos algoritmos basados en el registro de presencias para generar los modelos de distribución de especies entre los que podemos citar: a) **Bioclim** (Busby, 1991) que genera por cada especie un rango ecológico de n dimensiones para n número de variables predictoras. identificando todas las áreas con clima similar al lugar de ubicación de la especie. b) **Domain** (Carpenter, et al. 1993) opera usando sólo registros de presencia y un número limitado de atributos biofísicos, utiliza una función continua de similaridad para aumentar su flexibilidad como herramienta heurística aplicada al diseño de encuestas, selección de reservas y representación (mapas) del potencial de especies raras y comunes. c) **ENFA** (Hirzel, 2009) a través del Análisis de Componentes Principales calcula los factores que explican la mayor parte de la distribución ecológica de las especies. Calcula los mapas de aptitud del hábitat por adaptación de modelos numéricos o estadísticos sobre datos ambientales y de distribución de especies. d) **GARP** (Stockwell y Peters, 1999), utiliza mas de 30 capas rasterizadas de datos ambientales con variables climáticas (promedios de precipitación y temperatura), topográficas (pendiente, aspecto, altitud) y de substrato (tipo de suelo, pH, geología). Aplica un conjunto de reglas basado en relaciones "Si – Entonces". e) **MaxEnt** (Phillips; et al. 2006) genera predicciones o inferencias a partir de datos únicamente de presencia; estima la distribución de probabilidad de una especie, a través del cálculo de la distribución de probabilidad de máxima entropía sujeta a un conjunto de restricciones que representan la información incompleta acerca de la distribución de la especie.

En varios estudios se ha constatado que los diferentes algoritmos presentan distinta precisión a la hora de estimar la distribución del hábitat idóneo para una especie. En general los resultados no son concluyentes, funcionando de modo diferente los algoritmos según la especie, la cantidad de registros de presencia, o el número de variables predictoras (Benito y Peñas, 2007).

DIVA-GIS es un software de Sistemas de Información Geográfica diseñado para analizar y representar datos de biodiversidad (Hijmans; et al, 2001a). Varios autores (Jarvis; et al, 2003; Ganeshiah; et al., 2003; Hijmans, 2001b; Hijmans; et al, 2003) lo han utilizado para ejecutar ensayos de distribución geográfica de diferentes especies tales como *Arachis spp* (maní silvestre); *Ceratovacuna lanígera* (pulgón de la caña de azúcar); Solanaceae sect. *Petota* (papas silvestres); así como para predecir la tolerancia a las heladas de distintas especies de papa silvestre.

El objetivo del presente estudio es el de ensayar un modelo y simulación de distribución de especies para determinar el potencial para su aplicación en un SIG y generar mapas de distribución potencial de especies

2. Materiales y Métodos

El departamento de Loreto está ubicado en el Nor-Oriente del Perú, con una extensión aproximada de 375 000 km²; de territorio casi exclusivamente plano y situado, casi en su totalidad, en el llano amazónico. Por esta región discurren extensos ríos de gran caudal drenados desde la Cordillera de los Andes, siendo uno de ellos el río Amazonas, es poseedora de una gran biodiversidad y de numerosas especies endémicas (mapa 1 del anexo).

Los datos materia del análisis fueron obtenidos del proyecto “**Caracterización y selección de poblaciones de cinco especies nativas amazónicas: *Theobroma subincanum* Mart. (cacahuillo), *Garcinia macrophylla* Mart. (charichuelo liso), *Spondias mombin* L. (ubos), *Calyptranthes macrophylla* O. Berg. (anihuayo), *Oenocarpus bataua* Mart. (ungurahui) con potencial de mercado para sistemas integrales de producción agroindustrial en la Amazonía Peruana**” que, entre los años 2009-2010, ejecutó el Programa de Investigación en Diversidad Amazónica del IIAP. En el año 2010 se adicionan al conjunto original la especie *Garcinia madruno* (charichuelo rugoso); así mismo la especie *Calyptranthes macrophylla* O. Berg. (anihuayo) es reclasificada como *Plinia clausa*. En este mismo año los miembros del proyecto ejecutan nuevos muestreos (de campo y de recuperación de información) incrementándose la base de datos hasta alcanzar el número de 888 unidades muestrales para el departamento de Loreto.

Estas especies han seleccionado para el este ensayo en función de los siguientes criterios: a) Existencia de datos sistematizados de las especies consideradas, las que han sido obtenidas en muestreos de campo y a partir de material bibliográfico; b) Las especies son consideradas como muy importantes por su alto valor nutricional (vitaminas, minerales, proteínas, antioxidantes naturales y otros) en la alimentación humana.

Para desarrollar el proceso de modelamiento y simulación se ha elegido la aplicación DIVA-GIS por ser un algoritmo ampliamente utilizado para evaluar la potencialidad de la distribución de diversas especies en varias zonas del mundo. Del mismo modo, para ejecutar este proceso se han definido cuatro escenarios:

1. Escenario Climático Actual: Aplicación de variables bioclimáticas (BIOCLIM) de temperatura, precipitación e isothermalidad.
2. Escenario Climático Actual + Variables Físicas: A las variables bioclimáticas se adiciona las capas de información física espacial de Fisiografía, Geología, Geomorfología.
3. Escenario Climático Futuro: aplicación de las variables bioclimáticas calculadas al año 2020 por WordClim.
4. Escenario Climático Futuro + Variables Físicas: A las variables bioclimáticas calculadas al año 2020 se adiciona las capas de información física espacial de Fisiografía, Geología, Geomorfología.

3. Resultados y Discusión

3.1. Distribución espacial de muestras

La tabla 1 exhibe el número de muestras por especies por zona de interés; que se han definido en función del elemento paisajístico que caracteriza a las mismas. Se aprecia que la zona con mayor número de muestras colectadas es la carretera Iquitos-Nauta con 300 (33,78 %) ejemplares; valor que indica una fuerte predisposición para realizar colectas a lo largo de esta vía y lo cual proporciona un intenso sesgo estadístico al conjunto de datos; ocurriendo que la especie *Plinia clausa* es la más frecuente con 112 especímenes. La zona del río Tigre exhibe el más bajo número de muestras (11 = 1,24 %) siendo la especie *Plinia clausa* la menos colectada (1). En el mapa 2 del anexo, que grafica la distribución de muestras a nivel de zona de interés, se puede distinguir claramente que la colecta es más exagerada en unas zonas que en otras. Según Jarvis; et al. 2003; esta tendencia proporciona argumentos suficientes que justifican el uso de modelos de extrapolación espacial para llenar los vacíos de colección de muestras.

Tabla 1: Número de muestras por especies por zonas de interés

Zona de interés	<i>Garcinia madruno</i>	<i>Garcinia macrophylla</i>	<i>Plinia clausa</i>	<i>Oenocarpus bataua</i>	<i>Theobroma subincanum</i>	<i>Spondias mombin</i>	Total	%
Río Tigre		3	1		7		11	1,24
Río Huallaga		2		10	4	5	21	2,36
Río Pastaza			13	8	16	3	40	4,50
Río Nanay	2	5		17	16	17	57	6,42
Río Amazonas	4	7	2	10	10	25	58	6,53
Río Napo	8	20	8	4	35	15	90	10,14
Río Marañón	4	19	5	2	11	64	105	11,82
Río Ucayali		48	1	100	23	34	206	23,20
Carr. Iqt-Nau	36	35	112	5	72	40	300	33,78
Total	54	139	142	156	194	203	888	100,00

En cuanto se refiere a la distribución espacial del número de muestras colectadas, en la tabla 2 se exhibe el número de muestras tomadas por cada una de las especies consideradas en el ensayo, siendo el más numeroso *Spondias mombin* con 203 (22,86 %) unidades muestrales, en tanto que *Garcinia madruno* tiene tan sólo 54 (6,08 %). Tomando en cuenta la extensión del departamento de Loreto (aprox. 37 500 000 ha) y tal como señala Fischer; et al. 1943; es necesario considerar con precaución la representatividad que proporcionan las muestras colectadas, sobre la distribución de las especies en este espacio geográfico; así mismo debe observarse con cautela la dimensión con que representan las condiciones del hábitat en que se desarrollan. El mapa 3 del anexo describe gráficamente esta distribución.

Tabla 2: Número de muestras por especie

ESPECIE	Nro. de Muestras	%
<i>Garcinia madruno</i>	54	6,08
<i>Garcinia macrophylla</i>	139	15,65
<i>Plinia clausa</i>	142	15,99
<i>Oenocarpus bataua</i>	156	17,57
<i>Theobroma subincanum</i>	194	21,85
<i>Spondias mombin</i>	203	22,86
Total	888	100,00

La tabla 3 exhibe la distribución de muestras por especies a nivel de provincias (en rojo) así como a nivel de distritos (en negro). Se observa que la provincia de Maynas reúne el 51,69 % (459) de muestras, que es el mayor valor; mientras que la provincia de Ucayali exhibe únicamente 5 (0,5 %) unidades muestrales. A nivel distrital, Trompeteros registra la colecta de 1 (0,11%) sola muestra correspondiente a la especie *Plinia clausa*, la misma que es la más baja en este nivel espacial. Tres distritos exhiben colectas por encima de los 100 ejemplares, entre ellos San Juan Bautista donde se colectaron 175 (19,71 %) muestras correspondientes a las 6 especies, Belén con 137 (15,43 %) para 4 especies y Jenaro Herrera con 126 (14,19 %) muestras para 5 especies. Por otro lado, ocho distritos exhiben colectas por debajo de los 10 especímenes, en tanto que 16 distritos presentan colectas entre 11 y 59 ejemplares; como se puede apreciar no hay una correspondencia uniforme en cuanto se refiere a la relación especie-área. En este contexto y de acuerdo a lo manifestado por Turner; et al. 2005; es importante el reconocimiento de las relaciones especie-área con el objeto de alcanzar una comprensión básica de la diversidad biológica, así como para lograr una mejoría en las capacidades para formular planes de conservación de las especies. El mapa Nro. 4 registra información correspondiente a la distribución provincial y distrital de las muestras, en el cual es fácil reconocer los contrastes antes mencionados.

Tabla 3: Número de muestras por especies por distritos

DISTRITO	<i>Garcinia madruno</i>	<i>Garcinia macrophylla</i>	<i>Plinia clausa</i>	<i>Oenocarpus bataua</i>	<i>Theobroma subincanum</i>	<i>Spondias mombin</i>	Total	%
Ucayali							5	0,5
Sarayacu					3		3	0,34
Vargas Guerra						2	2	0,23
Alto Amazonas							21	2,3
Lagunas				3		1	4	0,45
Santa Cruz		2		1	2	1	6	0,68
Yurimaguas				6	2	3	11	1,24
Datem del Marañón							40	4,50
Andoas			13	8	16	3	40	4,50
Ramón Castilla							41	4,62
Pebas		9	3	2	19	8	41	4,62
Loreto							121	13,63
Nauta	4	19	5	2	16	13	59	6,64
Parinari						51	51	5,74
Tigre		3			7		10	1,13
Trompeteros			1				1	0,11
Requena							201	22,64
Jenaro Herrera		11	1	89	6	19	126	14,19
Requena		27		1		3	31	3,49
Sapuena		10		10	14	10	44	4,95
Maynas							459	51,69
Alto Nanay	1	2		3	3	2	11	1,24
Belén	8	6	107			16	137	15,43
Fernando Lores	1	4	2	9	10	18	44	4,95
Indiana	2			1		1	4	0,45
Iquitos	1	1		6	3	7	18	2,03
Mazan	7	11	5	2	16	7	48	5,41
Punchana		2		8	4	8	22	2,48
San Juan Bautista	30	32	5	5	73	30	175	19,71
Total	54	139	142	156	194	203	888	

3.2. Modelamiento y simulación de la distribución de especies

La aplicación (DIVA-GIS) utilizada en las pruebas exhibe opciones variadas para efectuar el análisis de la distribución biológica de los datos disponibles. Por otro lado, la aplicación proporciona varias opciones para el modelamiento de nichos ecológicos o predicción de patrones de distribución de especies, esta última opción sirvió para elaborar los mapas de distribución potencial de las especies de frutales nativos antes señaladas. Para el caso del presente ejercicio se utilizó la opción “Modeling” con la alternativa “Bioclim/Domain”, aplicándose el método de análisis “Predict”

Los procesos de análisis y modelamiento son efectuados en base a la localización (latitud/longitud) de la muestra, así como datos bioclimáticos (precipitación, temperatura e isothermalidad) e información de las variables físicas de Fisiografía, Geología y Geomorfología de las áreas consideradas en el estudio. Utilizándose para ello un Grid de 1 x 1

Los resultados del análisis de modelamiento y simulación son presentados por DIVA-GIS con los pixeles del grid categorizados en 5 clases (bajo, medio, alto, muy alto y excelente) agrupados en colores, que representan los percentiles en que se divide la muestra analizada.

En general, se observa que las áreas (pixeles) seleccionadas durante el análisis de la distribución en un escenario climático actual, experimentan una reducción de la superficie total al ejecutar el análisis en un escenario climático futuro, la Tabla 4 muestra los valores encontrados para la región Loreto. Tal reducción se manifiesta en todas las especies excepto en la *Garcinia madruno* que muy por el contrario experimenta un incremento de 17,80 % en el área seleccionada, la comprensión de las causas de este fenómeno escapa a los alcances del presente estudio. Se puede apreciar que *Oenocarpus bataua* experimenta la mayor reducción con 54,77 % del total del área seleccionada en el escenario climático actual. En general, esta respuesta coincide con lo expuesto por diversos autores con relación al efecto del cambio climático sobre la distribución de especies, tal como Hannah; et al. 2002; quien expresa que las proyecciones de los cambios climáticos inducidos por el hombre y la evidencia de cambios climáticos rápidos sucedidos en el pasado, demuestran que los patrones de la diversidad biológica pueden cambiar a escala de paisaje en plazos tan cortos como una década

Tabla 4: Áreas seleccionadas por escenarios

ESPECIE	AREA SELECCIONADA (ha)		Reducción del Área	
	Clima Actual	Clima Futuro	ha	%
<i>Garcinia macrophylla</i>	5 150 980,74	3 525 597,75	1 625382,99	31,55
<i>Garcinia madruno</i>	599 216,88	705 907,29	-106 690,41	-17,80
<i>Oenocarpus bataua</i>	12 168 669,99	5 503 913,54	6 664 756,45	54,77
<i>Plinia clausa</i>	3 556 997,75	2 231 129,30	1 325 868,45	37,27
<i>Spondias mombin</i>	10 476 421,89	7 926 253,41	2 550 168,48	24,34
<i>Theobroma subincanum</i>	12 645 326,26	9 099 875,45	3 545 450,81	28,04

Se observa en los mapas (anexos 5 al 16) que las áreas (pixeles) seleccionadas en ambos escenarios (climático actual y climático futuro) en una determinada clase, experimentan un cambio en cuanto se refiere a su clasificación al aplicarse las variables

físicas (fisiografía, geología, geomorfología), reduciéndose el número en beneficio del nivel inferior inmediato, tal es el caso de los píxeles clasificados como “excelentes” que, por esta razón, tienden a desaparecer. La Amazonia se caracteriza por exhibir una gran heterogeneidad bio-física como consecuencia de diversos procesos geológicos, geomorfológicos, climatológicos, hidrográficos y biológicos (PNUMA; et al. 2009); por tanto es de presumir que las variables físicas consideradas influyen sobre los patrones de distribución de las especies analizadas; al respecto Dufour; et al. 2006; señala que la ocurrencia de una especie en un determinado lugar está influenciada por diversos procesos ecológicos, los que a su vez son afectados por la configuración espacial del medioambiente. En este mismo sentido Heydari; et al. 2009; señala que la fisiografía tiene una influencia muy importante sobre la diversidad de especies y su distribución.

Por otro lado, el efecto de la concentración del muestreo en una zona es significativa, puesto que es en estas donde se van a centralizar las áreas (píxeles) clasificadas como “excelentes”. Al respecto Reddy & Davalos, 2003; advierten que la distribución e intensidad de los muestreos confieren a los resultados sesgos que van a influenciar en el diseño de las áreas prioritarias de conservación.

4. Conclusiones

Del análisis de la información utilizada, se desprende que la disponibilidad de datos es un problema serio, por cuanto se puede inferir que los muestreos se han realizado en áreas cercanas a los centros poblados y vías de comunicación, en consecuencia los muestreos no han sido uniformes y mucho menos aleatorios, por tanto los datos están sesgados hacia las áreas con facilidades de acceso.

Actualmente los mapas de distribución de especies se están transformando en instrumentos de uso común; sin embargo, este estudio es uno de los primeros esfuerzos en el que se intenta examinar en forma sistemática un grupo de especies de frutales nativos de la Amazonia a través del análisis, con las herramientas proporcionadas por el SIG, de un conjunto de observaciones georeferenciadas.

El uso de las herramientas de modelamiento y simulación de la distribución de especies proporciona información mas integral sobre las especies analizadas (lugares de ocurrencia, distribución, estado) de modo que su utilidad será mayor para los fines que se consideren pertinentes. En el caso de los agentes involucrados con la conservación de ecosistemas, la información les permitirá identificar con un alto grado de certeza las áreas para las cuales se deben formular y aplicar estrategias efectivas para la gestión de la conservación.

En la actualidad están disponibles un número considerable de técnicas de modelamiento y simulación, sin embargo los ensayos que permitan determinar su efectividad en la predicción y la variabilidad de estas, comprobar sus requerimientos de datos, establecer el tipo de inferencia de estos modelos, son casi inexistentes para la Amazonia peruana en general. Estas precisiones son necesarias para garantizar la utilidad de los mapas de distribución de especies.

5. Referencias Bibliográficas

- **Alvarez Alonso, José. 2006.** Imágenes del Paraíso: La Reserva Nacional Allpahuayo-Mishana. 84 p.
- **Benito, Blas. 2007.** Modelos de Distribución de Especies (I). Introducción. <http://siguiendoelcambio.blogspot.com/2007/10/modelos-de-distribucion-de-especies-i.html> Consultado 2010/03/26
- **Benito de Pando, B. y Peñas de Giles, J. 2007.** Aplicación de modelos de distribución de especies a la conservación de la biodiversidad en el sureste de la Península Ibérica”, *GeoFocus (Artículos)*, nº 7, p. 100-119, ISSN: 1578-5157
- **Busby, J.R., McMahon, J.P., Hutchinson, M.F., Nix, H.A. and Ord, K.D. 1991.** BIOCLIM - Technical Information. <http://ecobas.org/www-server/rem/mdb/bioclim.html> Consultado el 2010/04/08
- **Carpenter, G.; Gillison, A. N.; Winter, J. 1993.** DOMAIN: a flexible modelling procedure for mapping potential distributions of plants and animals. *Biodiversity and Conservation* 2: 667-680.
- **Dufour, A., Gadallah, F., Wagner, H. H., Guisan, A. and Buttler, A. 2006.** Plant species richness and environmental heterogeneity in a mountain landscape: effects of variability and spatial configuration. *Ecography* 29:573-584.
- **Encarnación, C. F.; Kalliola, R. y Rodríguez, F. 2004.** Diversidad de Vegetación de la Amazonía Peruana Expresada en un Mosaico de Imágenes de Satélite. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana – IIAP. Proyecto Diversidad Biológica de la Amazonía Peruana – BIODAMAZ. Iquitos – Perú
- **Fisher, R. A.; Corbet, A. Steven; Williams, C. B. 1943.** The Relation Between the Number of Species and the Number of Individuals in a Random Sample of an Animal Population. *The Journal of Animal Ecology*, 12(1): 42-58. May, 1943. British Ecological Society
- **Fishwick, Paul A. 2010.** Computer Simulation: The Art and Science of Digital World Construction. <http://www.cise.ufl.edu/~fishwick/introsim/paper.html> Consultado el 2010/04/08.
- **Goodchild, M. F. 2002.** Preface. In: Scott, J. M.; P. J. Heglund; M. L. Morrison; J. B. Haufler; M. G. Raphael; W. A. Wall; F. B. Samson (eds.). Predicting species occurrences: issues of accuracy and scale. 874 p. http://books.google.com.pe/books?id=P1gylbUGvOsC&printsec=frontcover&q=scott+predicting&hl=es&ei=bTJTOWbHoWClAeoitWSAQ&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=1&ved=0CCcQ6AEwAA#v=onepage&q&f=false
- **Grant, William E. 2001.** Ecología y Manejo de Recursos Naturales: Análisis de Sistemas y Simulación / William E. Grant, Sandra L. Marín, Ellen K. Pedersen. San José, C. R.: IIAC. 340 p.
- **Hannah, L.; Midgley, G. F.; Lovejoy, T.; Bond, W. J.; Bush, M.; Lovett, J. C.; Scott, D.; & Woodward, F. I. 2002.** Conservation of Biodiversity in a Changing Climate. *Conservation Biology* 16(1):264–268. Febrero
- **Heydari, M. & A. Mahdavi, 2009.** Pattern of plant species diversity in related to physiographic factors in melah gavan protected area, Iran. *Asian J. Biol. Sci.*, 2: 21-28.
- **Hirzel, Alexandre, 2009.** Biomapper: A GIS-toolkit to model ecological niche and habitat suitability. <http://www2.unil.ch/biomapper/enfa.html> Consultado 2010/02/17

- **Josse, C.; G. Navarro; F. Encarnacion; A. Tovar; P. Comer; W. Ferreira; F. Rodriguez; J. Saito; J. Sanjurjo; J. Dyson; E. Rubin de Celis; R. Zarate; J. Chang; M. Ahuite; C. Vargas; F. Paredes; W. Castro; J. Maco y F. Reategui. 2007.** Sistemas Ecológicos de la Cuenca Amazónica de Perú y Bolivia: Clasificación y Mapeo. NatureServe. Arlington. Virginia. EE. UU.
- **Lahoz-Beltrá, Rafael. 2004.** Bioinformática: simulación, vida artificial e inteligencia artificial. 620 p.
<http://books.google.com.pe/books?id=1Lxt1Eviy8cC&pg=PP1&dq=Lahoz-Beltr%C3%A1+Bioinformatica+Simulacion&cd=1#v=onepage&q&f=false>
Consultado el 2010/03/05.
- **Lux y Sydow. 2005.** Environmental Modelling. ERCIM News. On Line 61:10. Abril.
- **Olson & Dinerstein. 1998.** The Global 200: A Representation Approach to Conserving the Earth's Most Biologically Valuable Ecoregions. Conservation Biology 12(3): 502-515
- **Phillips, S. J.; Anderson, R. P.; Schapire, R. E. 2006.** Maximum entropy modeling of species geographic distributions. Ecological Modelling 190: 231–259
- **Pidwirny, M. 2006.** Abiotic Factors and the Distribution of Species. In: Fundamentals of Physical Geography, 2nd Edition. e-Book.
<http://www.physicalgeography.net/fundamentals/9e.html> consultado 2010/10/11
- **Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA); Organización del Tratado de Cooperación Amazónica (OTCA), Universidad del Pacífico. 2009.** Perspectivas del Medio Ambiente en la Amazonía: Geo Amazonía.
- **Reddy, Sushma; & Davalos, Liliana M. 2003.** Geographical sampling bias and its implications for conservation priorities in Africa. Journal of Biogeography, 30:1719–1727
- **Stockwell, D.; Peters, D. 1999.** GARP modelling system: problems and solutions to automated spatial prediction. International Journal of Geographical Information Science, 13(2): 143-158
- **Turner, Will R. & Tjørve, Even. 2005.** Scale-dependence in species-area relationships. ECOGRAPHY 28:721-730