1ER. CONGRESO Y PARLAMENTO VIRTUAL DEL FOLKLORE DE AMÉRICA – 2020

Obtención de patrones de diseño desde las especies nativas del páramo de Chimborazo-Ecuador

Mg. Arq. Ximena Idrobo Cárdenas[1], MsC. Ing. Daysi Guanga Chunata[2], MsC. Ing. Wilian Sanchez[3] Ms. Lcdo. Edison Martínez Espinoza[4], MsC. Ing. Isabel Carrión[5]

Resumen— **Desde el conocimiento botánico de las especies nativas de la Provincia de Chimborazo de dos ecosistemas: el páramo (sobre los 3.000 m.s.n.m.) y el matorral seco (2500 m.s.n.m. hasta los 3.000 m.s.n.m.), se propone la obtención de patrones de diseño en base al MÉTODO DE DISEÑO FRACTAL ANDINO (MDFA) desarrollado a partir de la investigación biomorfica de varias especies nativas desde el 2017; cuyos resultados se han dado a conocer en diversos eventos académico-científicos y se han transferido a ciertos sectores ciudadanos locales. La propuesta está vinculada a: a) al conocimiento de la geometría fractal, b) y del Sistema Proporcional Andino Ecuatoriano, c) al MDFA, d) creación de un sistema informático.**

Como resultados se obtienen algoritmos geométricos presentes en las especies nativas para la construcción de estructuras biomorficas con posibilidades de aplicación en distintos campos del diseño contemporáneo, constituyéndose en un aporte relevante con impacto en los emprendimientos locales.

Palabras Clave— **Diseño fractal andino, Geometría Fractal, Proporción andina, plantas nativas andinas de Chimborazo-Ecuador.**

I. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo es parte de dos investigaciones iniciadas desde el 2017: por un lado LA GEOMETRÍA DE LA NATURALEZA PRESENTE EN LA FLORA NATIVA ANDINA DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO ya finalizada, y la otra investigación en curso INVESTIGAR LA GEOMETRÍA FRACTAL EN ESPECIES NATIVAS ANDINAS HERBÁCEAS, LEÑOSAS Y MADERABLES EN CHIMBORAZO PARA APLICACIÓN EN EL DISEÑO ARQUITECTÓNICO-CONSTRUCTIVO Y GRÁFICO, que tiene como finalidad determinar la geometría fractal y la proporción andina en la flora nativa andina de la provincia de Chimborazo para el desarrollo de patrones de diseño para aplicación en distintas piezas de diseño.

La investigación tiene como epicentro la zona 3, en la región sierra central, tiene una superficie de 6.487 Km2, con 612.421 habitantes, políticamente está conformada por nueve cantones. Su altitud media es de 3642 m.s.n.m.

Figura 1. Reserva faunística de Chimborazo y Parque Nacional Sangay.

Las especies pertenecen a dos hábitats: el ecosistema denominado páramo, en la Reserva Faunística de Chimborazo y el Parque Nacional Sangay. El ecosistema está caracterizado por poseer temperaturas medias de 3 a 4 °C, a una altitud de 3800 a 4000 m.s.n.m. La vegetación se presenta con hierbas o almohadillas (conglomerados de vegetación). Y el otro ecosistema estudiado es el matorral seco, donde se encuentra la ciudad de Riobamba, las especies de estudio están dentro del campus institucional.

La geometría fractal modifica el visón de los objetos naturales que nos rodean, permitiendo que éstos sean captados a través de algoritmos o procedimientos computacionales cuyos elementos no derivan de la intuición directa, característica que los distingue de la geometría euclídea. Así muchas estructuras naturales tales como las nubes, las montañas, los árboles que aparentan tener una complejidad extraordinaria, poseen una misma regularidad geométrica: denominada invariancia bajo escala, esto significa que si se analizan estas estructuras a distinta escala se encuentran los mismos elementos y estructuras. Esta interrelación a distintas escalas se describe matemáticamente a través del concepto de dimensión fractal.

Si bien las temperaturas determinan en gran medida la distribución natural de especies, existen respuestas adaptativas en el mundo vegetal que permiten visualizar un patrón de elementos que pueden ser recopilados a través del análisis de las especies nativas. La existencia de modelos matemáticos que representen la fractalidad de las especies nativas y el correspondiente estudio de sus dimensiones servirá, entre otros, para evitar efectos sobre la extinción de dichas especies.

Las especies existentes han sido estudiadas desde el marco botánico y escasamente desde el ámbito del diseño. Por lo que este trabajo tiene como objetivo aplicar los fundamentos de la Geometría Fractal y del Sistema Proporcional Andino Ecuatoriano en el análisis biomorfico e implementarlo en propuestas contemporáneas del diseño trasladadas al sector artesanal local. Para lo cual se hacen las siguientes determinaciones: a) que es un fractal y sus características, b) que es el diseño andino y la proporción andina, c) se determina el método de diseño fractal andino.

A partir de lo cual se elaboran los patrones gráficos fundamentados en la geometría fractal y proporción andina, para aplicarlos en piezas gráficas. Paralelamente se elabora un sistema informático para procesar los datos y la generación de formas fractales en base a modelos matemáticos.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Como antecedente es necesario indicar que dentro del primer proyecto de estudiaron 76 especies con recolección de muestras en investigación de campo y en el herbario de la Institución, en el segundo proyecto se trabaja en diez especies, entre arbustivas, herbáceas y leñosas, estas especies están en ecosistemas distintos.

El proceso metodológico inicia con la determinación del fractal y sus características, recurriendo a diversas fuentes bibliográficas. Dentro del diseño andino se identifican los elementos pertinentes a la proporción andina, para enfrentar el análisis proporcional de cada una de las especies, producto de este análisis de obtiene la razón, considerando cuatro elementos de cada muestra: la planta, rama, hoja y flor, la razón es el factor de escalamiento para las propuestas fractales, para el cuerpo teórico se recurre a la información recabada de investigación doctoral de uno de los miembros del proyecto[1].

[1] X. Idrobo (2020), Desarrollo de un sistema Proporcional Andino Ecuatoriano con aplicación a la Arquitectura y el Diseño, Universidad de Oriente de Cuba, Cuba.

Con respecto al MÉTODO DISEÑO FRACTAL ANDINO, inicia con la investigación de campo en las zonas indicadas e identificación de las especies en el herbario de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) a través de la observación estructurada en fichas de registro, se seleccionaron 76 especies por sus características biomorficas apoyado en un banco de especies desarrollado por J.Caranqui (2016) en el caso de la primera investigación y 10 especies en el otra.

Luego se procede a realizar el registro fotográfico en campo y en el herbario con tomas de cada una de las especies y detalles de ramas, hojas, flores. Información recopilada en fichas de registro específicas de planta, hojas y flores, donde se señala variables relacionadas con la georreferenciación, clima, altitud, descripción y características de cada especie.

Se realiza el análisis biomorfico a través de diez categorías compositivas: 1. Análisis de la **proporción**, para lo cual se establece el esquema vectorial fractal, la dimensión fractal, la razón proporcional que se convierte en el factor de iteración a mayor o menor **escala**. 2. Establecer el patrón de crecimiento con **simetrías o asimetrías**. 3. **Dirección** de manera especial en el crecimiento de ramas y hojas. 4. **Ritmo** para identificar el algoritmo de recursividad. 5. **Textura** analizada en las hojas a través de la disposición de las nervaduras y pubescencias. 6. **Tamaño** en hojas y ramas para encontrar el crecimiento proporcional. 7. **Movimiento** en la descripción de la trayectoria de las ramas, hojas y flores. 8. **Equilibrio** a través de ejes y puntos de equilibrio. 9. **Color** en el establecimiento de una codificación y luego del proceso de secado en el herbario, tanto en ramas, hojas y flores. Toda esta información está resumida en matrices de síntesis por cada especie.

Una vez vectorizadas las especies se efectúa el proceso de abstracción, con el método de análisis gráfico de capas; el producto se le somete a variaciones formales provenientes de dos dimensiones, carácter cuantitativo con modificación de líneas, color y textura; y, culitativo, considerando la substracción, intersección, unión, coincidencia de contornos. Estas variantes se aplican al esquema vectorial fractal donde se pone de manifiesto infinidad de variantes a partir de un solo patrón.

Paralelamente se realiza el modelo matemático, a través de la información que surge del análisis biomórfico y a su vez los patrones propuestos se nutren desde este modelo.

La característica fundamental de los fractales es su singular dimensión. Independiente de considerar sistemas L o figuras geométricas en iteraciones sucesivas. La dimensión es una generalización natural construida sobre la conocida dimensión espacial.

Para realizar el análisis de las características fractales de las plantas se indagó su dimensión fractal: medida numérica adimensional que determina el grado de irregularidad de un fractal.

La geometría fractal y de manera particular la teoría del Caos, surgió de la aparición de una especie de conjuntos llamados monstruos geométricos. Muchas de las propiedades matemáticas se vieron expuestas y tambaleando sus pilares condenaron al olvido lo que hoy en día constituye una de las partes más fascinantes de las matemáticas, de las ciencias y de las artes.

La geometría fractal estudia y clasifica los objetos fractales. Una forma de conocer y clasificar los objetos fractales es analizando el determinismo de los procedimientos y algoritmos matemáticos que presentan. Un fractal resulta después de un proceso de iteración infinita, de repetir infinitamente los mismos procedimientos sobre los resultados obtenidos en la fase anterior. En ocasiones, la forma de construirlos es encilla. requiere poca información para obtenerlos y, sin embargo, el resultado final puede ser de una gran complejidad. El interés de estos objetos es que proporcionan modelos que simulan estructuras presentes en la naturaleza y posibilitan la

realización de manipulaciones matemáticas que podrán ser aplicadas a la realidad.
Una característica común a todos ellos, y que puede servir para definirlos, es su dimensión. Se admite que un fractal es un objeto geométrico que puede ser descrito en términos de dimensiones que pueden no ser enteras. La mayoría de las veces la dimensión de un fractal será un número no entero, pero existen algunos casos particulares de fractales, como la curva de Peano y todos los objetos propios de la geometría euclídea, que tienen dimensión entera.

Las formas geométricas euclídeas (líneas, planos, arcos, cilindros...) aprendidas por los estudiantes universitarios se refieren a objetos creados por el hombre, que han sido pensados, desarrollados y descritos, tienen dimensión entera 1, 2 o 3. La tradicional escuela de aprendizaje de las dimensiones en las que representamos los objetos a través de la observación definiendo medidas de largo, ancho y alto, constituye la principal dificultad para aceptar las dimensiones no enteras a las que llamamos fractales

Dynamic Discrete Systems
Un sistema dinámico es un sistema cuyo estado evoluciona en relación a una variable en ocasiones definida como tiempo. Un ejemplo de sistemas dinámicos corresponde a los sistemas físicos en situación no estacionario, existen también modelos económicos, matemáticos y de otros tipos que son sistemas abstractos. El comportamiento en un estado se puede caracterizar por el límite del mismo, sus elementos y sus relaciones.
Los sistemas dinámicos se clasifican en sistemas discretos y continuos. Un sistema dinámico se dice discreto si la variable considerada t se mide en pequeños lapsos; Si la variable t (tiempo) es medido en forma continua, el sistema dinámico continuo resultante es expresado como una ecuación diferencial ordinaria. Para definir los límites del sistema se procede, en primer lugar, con una selección de los componentes que contribuyan a generar los modos de comportamiento, y luego se determina el espacio donde se llevará a cabo el estudio, omitiendo toda clase de aspectos irrelevantes.
Los sistemas dinámicos se ocupan del movimiento, de las transiciones de un estado a otro. Un sistema dinámico discreto definido matemáticamente es un par de la forma $((X,f(x))/f:X\to X$, donde f es una aplicación de X en X que representa la ley de evolución del sistema dinámico.

El conjunto x recibe el nombre de espacio de fases o de estados. La palabra discreto significa que el sistema evoluciona para valores discretos del tiempo.
Las variables que describe el sistema dinámico discreto reciben el nombre de variables de estado y forman un vector llamado vector de estado. Si se parte de una solución inicial x_0, se denota $x_n=f^n(x_0)$, donde f^n representa la composición n veces de la función f. Se llama solución general a la igualdad: $F_x(n)=f^n(x)$. Al conjunto de valores $\{x_0,x_1,x_2,x_3\ldots\}=\{x,f(x),f^2(x),f^3(x)\ldots\}$ se lo denomina órbita de $x=x_0$. EN ocasiones la obtención de la solución analítica resulta difícil e incluso imposible. Para ello se debe recurrir a la representación gráfica, por ejemplo:

Dado un sistema dinámico $(X,f(X))$ se dice que $\varepsilon \in X$ es un punto fijo si, $f(\varepsilon)=\varepsilon$. Los puntos fijos requieren especial atención, pues son estados de equilibrio y se clasifican en atractivos, repulsivos e indiferentes.
Un punto fijo se dice que es atractivo si $|f'(\varepsilon)|<1$ |. En este caso existe un intervalo abierto que contiene a cuyos puntos tienen órbitas que mueren en ε.
Se dice que es repulsivo si $|f'(\varepsilon)|>1$ |. Esto quiere decir que todos los puntos próximos a ε, que estén dentro del mismo intervalo abierto al que pertenece, tienen órbitas que se alejan de ε.
El punto fijo es indiferente si $|f'(\varepsilon)|=1$ |. En este caso puede haber puntos próximos a ε cuyas

órbitas se alejan de ε y otros cuyas órbitas caen en ε.

Se dice que el punto fijo ε es periódico o cíclico de periodo n del sistema(X,f(X)). si existe un n tal que $|f^n(\varepsilon)|=\varepsilon$ |. Y $|f^{(\prime)}(\varepsilon)|\neq\varepsilon$ | Su órbita sería de la forma:
$\{\varepsilon,f(\varepsilon),f^2(\varepsilon),f^3(\varepsilon)\ldots f^{(n-1)}(\varepsilon),\varepsilon,f(\varepsilon),f^2(\varepsilon)\ldots f^{(n-1)}(\varepsilon)\ldots\}$

Fractales deterministas lineales
Los fractales lineales son descritos mediante sistemas dinámicos lineales. La función aplicada sobre el espacio de fases es una función lineal. Partiendo de un objeto inicial se aplica una función lineal repetidas veces sobre cada uno de los resultados obtenidos en el proceso anterior. Todos ellos se caracterizan por ser autosimilares. Cualquier parte del objeto contiene una copia reducida del original. La manera habitual de obtener estos objetos es mediante un sistema de funciones iteradas. Una transformación lineal actúa sobre el plano euclídeo y permite girar, desplazar y cambiar la escala de cualquier conjunto del plano. La transformación W, se denomina contractiva si hace que dos puntos cualesquiera estén más próximos después de haber sido transformados. Esta transformación modifica los puntos de un objeto hasta convertirlo en un punto fijo al que se denomina atractor.
Se puede expresar como $W(x,y)=\begin{pmatrix}ax+by+c\\dx+ey+f\end{pmatrix}$ o bien

$$W\begin{pmatrix}x\\y\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}a&b\\d&e\end{pmatrix}\begin{pmatrix}x\\y\end{pmatrix}+\begin{pmatrix}c\\f\end{pmatrix}$$

También se puede expresar un efecto de transformación mediante la rotación para lo cual se utiliza:
$$W\begin{pmatrix}x\\y\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}r\cos\theta&-s\sin\varphi\\r\sin\theta&s\cos\varphi\end{pmatrix}\begin{pmatrix}x\\y\end{pmatrix}+\begin{pmatrix}k_1\\k_2\end{pmatrix}$$
Para r,s como la escala de la transformación; θ,φ la rotación y ,k_1,k_2 los valores para la traslación. Un ejemplo que se puede observar la transformación analítica es la de la figura 1 donde la transformación W converge a un punto fijo con todas las aplicaciones contractivas donde el atractor independiente de la imagen de origen es siempre el mismo.

Fig. 1. Representación gráfica de la transformación W en el plano bidimensional

Ejemplos de fractales de varios sistemas.
La propiedad de que las partes sean similares a toda la estructura en su conjunto se denomina autosimilitud. El intervalo de autosimilitud de varios objetos naturales puede contener escalas desde fracciones de un micrómetro (cuando se considera la estructura de rocas porosas) hasta decenas de kilómetros (cuando se considera el terreno y la forma de la nube). Se pueden encontrar ejemplos de autosimilitud en objetos o procesos aparentemente diferentes. Entonces, el movimiento browniano es una buena ilustración de la autosimilitud probabilística, en matemática ejemplos de autosimilitud son los conjuntos de Cantor y la función de Weierstrass, en la música la auto-similitud está asociada con la afinación templada de Bach de doce tonos, las muñecas rusas de anidación de madera, así como las cajas chinas, son ilustraciones de discreta y limitada similitud, sistemas acústicos (en particular, la membrana principal del oído interno) también funciona sobre la base del principio de auto-similitud; la lista de objetos y fenómenos naturales, incluida la copa de los árboles, la descarga de rayos, los árboles bronquiales, los sistemas circulatorio y fluvial, etc. Finalmente, la auto-similitud a menudo es inherente a las estructuras jerárquicas. La autosimilitud supone que copiar y escalar alguna imagen de "referencia" permite a la naturaleza crear fácilmente una estructura compleja de múltiples escalas. Algunos ejemplos se muestran como estructuras fractales naturales, aritméticas y otras creadas como un arte de autosimilitud ilustradas en las figuras 2, 3, 4.

Fig. 2. Ejemplos de fractales en la vida silvestre (Protista, Coral, red de vasos sanguíneos del corazón)

Fractales de naturaleza inanimada Fractales de sistemas técnicos

Fig.3. Ejemplos de fractales en la naturaleza inanimada (Red fluvial, Relámpago, Red de carreteras)

Fractales en el arte

Fig.4 . Ejemplos de fractales en el arte

Fig.5. Ejemplos de fractales en el diseño y construcción

Fractal geométrico

Fig.6. Espiral logarítmica y la concha de Nautilus

Análisis fractal de la estructura de las especies nativas

Considerando la estructura de las especies nativas. La dependencia de la abundancia de las partes de la especies (S) expresada en términos de la región geométrica medible en el plano bidimensional (A) o el tamaño de la muestra (N), seccionada para cada especie, de modo que al elegir ecuaciones para tales representaciones o curvas (la relación entre el número de ramificaciones y su existencia en las zonas en donde se puede representar). En 1859 el británico evolucionista H. Watson propuso la dependencia de S en A para las plantas británicas vasculares en coordenadas logarítmicas dadas por la ecuación:

$\log S=\log C+z\log A$; $S=cA^z$

Donde c y z son constantes.

En la segunda década del siglo XX el agroquímico Sueco Arrhenius describió la ecuación para la dependencia de S en A como:

S $S/S_1=(A/A_1)^n$ donde $S_1>S$, $A_1>A$ y $n<1$ A son constantes (S es el número de ramificaciones encontradas en la muestra que cubre la región examinada A , S_1 es el número de ramificaciones en la muestra A_1. Arrhenius "redescubrió" la ecuación de Watson:

$\log S=n(\log A-\log A_1)+\log S_1=n\log A$

Si $c=(S_1/A_1)^n$ y $z=n$. De este modo, un área más grande ocupada menor cantidad de ramificaciones, demostrando así que la estimación obtenida por la dependencia de las variables propuesta por Arrhenius para varias especies de plantas puede determinar la dimensión fractal y con ello la demostración de la construcción del esquema de autosimilitud en la estructura de la formación de las especies.

$S=c+z\log A$

Sin embargo, para los fractales, la dimensión no entera es característica. De acuerdo con este enfoque clásico, un objeto tiene n dimensiones si puede dividirse en partes por hiperplanos. Por lo tanto, se obtiene una definición recurrente de la dimensión: los volúmenes son partes del espacio R^3, las superficies en R^2, las líneas son límites de R^1 y los puntos son límites de R^0.

Una forma de relacionar la dimensión es la del recuento de cajas y consiste en calcular la medida de la longitud de la curva mediante la medida de las longitudes l de los cuadrados que forman el retículo que lo recubre. Si se cuenta el número de cuadrados N y se establece la relación:

$$N=(1/l)^d$$

Donde d es aproximadamente la dimensión fractal.

Considerando las diferencias entre los enfoques monofractal y multifractal. Se destaca una vez más que la característica principal de un conjunto fractal es su dimensión. Sin embargo, el procedimiento estándar para determinar la dimensión fractal no permite detectar diferencias entre objetos homogéneos y heterogéneos (multifractales). Para esto, se introducen nuevas características a través de la ecuación:

$$M_q=\sum_{i=1}^{S} p_i^q = N^{\tau(q)}$$

Donde $-\infty<q<\infty$ se llama el órden del momento y el indicador τ caracteriza la tasa de cambio en el momento correspondiente a un incremento en el mallado.

Cuando se aplica el formalismo multifractal a la estructura de una especie, esta se considera como un conjunto que consta de subconjuntos fractales separados, que pueden interpretarse como una colección de individuos que pertenecen a especies con una representación similar. Para tales subconjuntos, es posible calcular la dimensión fractal, que caracterizará la diversidad de especies. Este es el significado de la ordenada de los puntos α en la gráfica del espectro multifractal; La abscisa de los puntos $f(\alpha)$ caracteriza la proporción de la especie de un subconjunto particular en la Fig. 7.

Fig.7. Espectro multifractal de la especie

Análisis fractal de la diversidad taxonómica de las Asteraceae

Al conocer los fractales, la idea central es la auto-similitud, cuya esencia se reduce a replicar un fragmento de una estructura en su conjunto mientras reproduce las propiedades del todo en cada fragmento. Anteriormente, desarrollamos los fundamentos metodológicos de la teoría fractal de la estructura de especies, que permitieron adaptar el aparato matemático existente y la lógica de justificación para analizar la estructura fractal de la diversidad taxonómica. Desde un punto de vista matemático, un objeto fractal resulta ser invariable (demuestra escala o invariancia de escala) en relación con los cambios a gran escala (estiramientos y contracciones) del espacio. Por ejemplo, en el análisis fractal de la estructura de la Asteraceae figura 8 está dada por:

$$S=N^D\ ,\ D=\log S/\log N$$

Fig.7. Asteraceae, especie nativa de la región Andina

considerando este problema con más detalle, en la medida en que la estructura de la diversidad taxonómica es invariable con respecto a la transformación de su escala, expresada a través de un aumento en el número de especies. Para resolver este problema, utilizaremos los datos de la tabla. 1 y transformarlos para construir una curva acumulativa para la acumulación del número de ramificaciones con la acumulaciónque en el contexto considerado es equivalente a un aumento en la escala. El algoritmo para la acumulación acumulativa de géneros o especies es simple, se aproxima satisfactoriamente por una ley de potencia, tanto en coordenadas naturales como en logarítmicas. El exponente $D=1.377$ puede interpretarse como la dimensión fractal correspondiente: el número de elementos de diversidad taxonómica cambia de acuerdo con una ley de potencia con un exponente fraccional D con un aumento en el tamaño del sistema, es decir, con un aumento en el número de especies. Este hecho indica que el proceso de un aumento en el número de géneros es un proceso auto-similar y, por lo tanto, exhibe las propiedades de un fractal.

Los conceptos de geometría clásica no son suficientes para tratar de explicar y modelar ciertos objetos naturales o fenómenos caóticos. En el siglo XX, Benoit Mandelbrot abordó estos problemas con la ayuda de las computadoras y fundó Fractal Geometry. La estructura de auto-similitud de los fractales lleva a la idea de generar fractales a través de procesos recursivos.

Diseño industrial Es una rama del diseño, un área de actividad artística y técnica, cuya finalidad es determinar las características estructurales y funcionales y el aspecto de los productos fabricados industrialmente. Normalmente, el desarrollo del diseño industrial incluye las siguientes etapas: generar una idea; estudio conceptual; dibujar creación de prototipos; modelado 3D; visualización; diseño; prototipos. El diseño industrial como actividad incluye elementos de arte, marketing y tecnología. Cubre una amplia gama de objetos, desde artículos para el hogar hasta productos de alta tecnología e intensivos en ciencia.

El caos dinámico (determinista) y los fractales entraron en la imagen científica del mundo en el último cuarto del siglo XX. La investigación relacionada con los fractales y el caos dinámico está cambiando muchas ideas tradicionales sobre el mundo que nos rodea. Los fractales brindan la oportunidad de revisar nuestras opiniones sobre las propiedades geométricas de los objetos naturales y artificiales, y el caos dinámico trae cambios radicales en nuestra comprensión del comportamiento de estos objetos a lo largo del tiempo. La teoría del caos y la geometría fractal desarrolladas sobre estos conceptos abren nuevas posibilidades en varios campos del conocimiento, incluida la arquitectura y el diseño de las TIC. El surgimiento de la geometría fractal es la siguiente etapa en el desarrollo de la geometría, la conformación y el diseño fractal.

Conjuntos fractales son notables porque sus partes son, en cierto sentido, similares a un conjunto completo. Esta propiedad se llama auto-semejanza. El examen de cualquier fragmento de un conjunto fractal con cualquier aumento da imágenes que contienen numerosas copias (quizás ligeramente distorsionadas) del conjunto original. El conjunto fractal más famoso, el conjunto de Mandelbrot, se muestra en la Fig. 1 en negro junto con su fragmento ampliado.

Figura 8. Conjunto Caos Mandelbrot y el delta del río Lena (derecha)

Las características de los conjuntos fractales están contenidas en muchos objetos naturales: plantas, nubes, picos de montañas, deltas de ríos (ver Fig. 1 - el delta del río Lena), galaxias. El universo mismo es, en cierto sentido, fractal.

En matemáticas, los fractales se entienden como conjuntos de puntos en el espacio euclidiano que tienen una dimensión métrica fraccionaria (en el sentido de Minkowski o Hausdorff), o una dimensión métrica distinta de la topológica. Los primeros ejemplos de conjuntos auto-similares con propiedades inusuales aparecieron en el siglo XIX (las funciones de Bolzano y Weierstrass, el conjunto de Cantor, las curvas de Koch y Peano, el triángulo de Serpiski, etc.). El término "fractal" fue introducido por Mandelbrot en 1975 y ganó fama con la publicación en 1977 de su libro "La geometría fractal de la naturaleza".

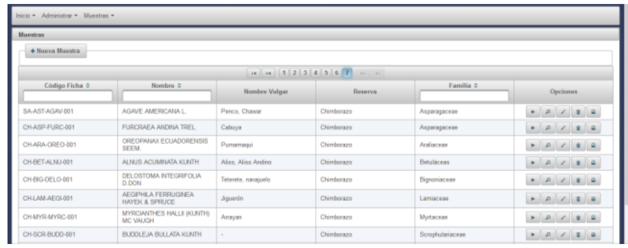
Los fractales son de varios tipos:

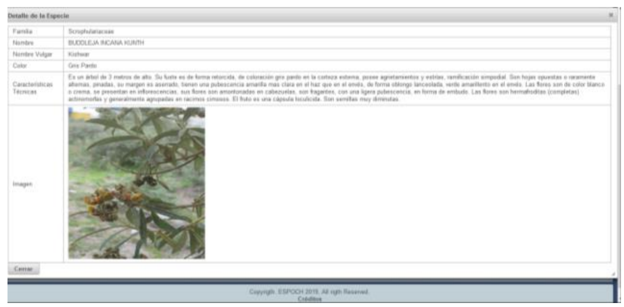
Fractales geométricos. En el espacio 2D, se obtienen utilizando una polilínea (o superficie en el espacio 3D), llamada generador. En un paso del algoritmo, cada uno de los segmentos que componen la polilínea es reemplazado por un generador de polilínea, en la escala apropiada. Como resultado de la repetición sin fin de este procedimiento, se obtiene un fractal geométrico. Los fractales geométricos 2D se pueden utilizar para crear texturas: patrones que se repiten periódicamente en una superficie. Ejemplos de tales curvas son: curva de Koch y copo de nieve, curva de Levy, curva de Minkowski, curva de Peano, curva de Hilbert, triángulo y servilleta de Sierpinski, dragón Harter-Heitway, árbol de Pitágoras, etc.

Fractales algebraicos Se obtienen mediante procesos no lineales en espacios n-dimensionales. Recibieron su nombre porque están construidos sobre la base de fórmulas algebraicas. Existen varios métodos para obtener fractales algebraicos. Uno de ellos es un cálculo múltiple de la función zn + 1 = fc (zn), donde z es un número complejo y f es alguna función. Se requieren números complejos para construir un fractal. Al cambiar el algoritmo de selección de color, puede obtener pinturas fractales complejas con patrones multicolores. Ejemplos de fractales algebraicos: conjunto de Mandelbrot, conjuntos de Julia y Newton.
Fractales estocásticos se obtienen si algunos de sus parámetros se cambian aleatoriamente en el proceso iterativo. Al mismo tiempo, se obtienen objetos muy similares a los naturales: árboles asimétricos, costas dentadas, etc. Los fractales estocásticos bidimensionales se utilizan para modelar el terreno y la superficie del mar.

Sistema Informático

Con el avance de la tecnología mediante sistemas informáticos mantienen una relación directa con la sociedad, como una herramienta para el apoyo, organización y almacenamiento de datos en el tiempo; los mismos que pueden cambiar constantemente y permitiendo así tomar decisiones de manera más eficiente en la investigación de la geometría fractal en la flora nativa andina de las especies. El almacenamiento de datos en los sistemas de informática es indispensable para realizar las actividades proyectadas en cualquier organización; por ende, la importancia y los beneficios que aportan en la actualidad los sistemas informáticos están ligados con la toma de decisiones individuales y/o grupales para la organización reflejados en el intercambio de información con la sociedad en planeación de escenarios de muestras de nuevas especies. La data para el almacenamiento en el sistema informático consta de la especie, la familia, nombre vulgar, color características técnicas con su respectiva imagen botánica para ser analizada, mediante las muestras (hoja, planta, flor) en su respectivo clima, altitud, ubicación, altura, ancho, espesor, con imágenes vectorizadas





IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Luego de la metodología descrita se desprenden lo siguiente:

Desde las precisiones del cuerpo teórico se establecen los elementos de análisis para la aplicación del MÉTODO DE DISEÑO FRACTAL ANDINO.

Como resultados del MDFA se obtiene los siguiente: de la elaboración de un registro fotográfico detallado y vectorizado de una muestra representativa de la flora nativa andina de Chimborazo-Ecuador, se obtiene un banco fotográfico codificado de las especies vivas y disecadas en el herbario, así como también las características de las muestras. Son 86 especies, de las siguientes familias: *Oronbachaceae, Ericaceae, Asteraceae, Poaceae, Cyperaceae, Caproifoliaceae, Gerianiaceae, Gentianeacea, Podocarpaceae, Asparagaceae, Araliaceae, Betuláceas, Bignoniaceae, Lamiaceae, Myrtaceae, Scrophulariaceae*. Se muestra la ficha de registro en la tabla 1.

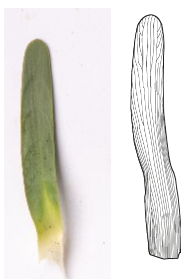


Figura 7. Vectorización de hoja a partir de registro fotográfico.

Figura 8. Registro fotográfico especie en investigación de campo y detalle fotográfico de especie en herbario.

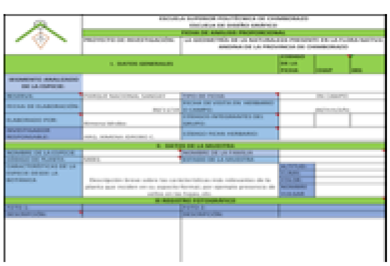


Tabla 1. Ficha de registro

En el cálculo de la dimensión fractal, la presencia de una relación lineal implica que el objeto analizado es un fractal donde la pendiente de la recta será la dimensión fractal buscada.

Según se observa en la ecuación de la curva que se muestra en la Figura 9, la dimensión fractal de la flor de la *ASTERACEA* es 1,61726, y aunque este valor no será utilizado en la propuesta del modelo, si resulta importante mencionar que constituye un indicador de complejidad de la forma de la planta. Este indicador crece a medida que la forma es más irregular.

A partir de este análisis y una vez demostrado que la planta *ASTERACEA*. es un fractal es posible diseñar un modelo basado en Sistemas-L con característica fractales el cual describa el crecimiento de la planta.

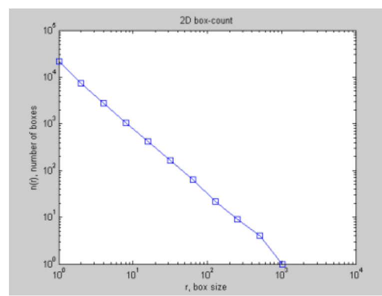


Figura 9. Interpolación número de cajas respecto al tamaño de caja de la flor

Luego de determinar la dimensión fractal de cada una de las familias, como resultado del análisis proporcional andino se obtuvo la razón por cada elemento de la especie como se muestra en la figura 11 . Desde el dibujo botánico se obtuvo el esquema vectorial fractal como se muestra en la figura 11 es resultado de la aplicación del método de capas, que permitió un análisis ágil y sistemático (ver figura 12).

Figura 11. Establecimiento de la razón proporcional por cada elemento de la especie. Especie Chuquiraga jussieui pertenece a la familia Asteraceae.

Figura 12. Esquema vectorial fractal desde el dibujo botánico con método de capas. Especie Chuquiraga jussieui pertenece a la familia Asteraceae.

El resultado del proceso de abstracción es la obtención de un producto de síntesis gráfica sin perder las características fundamentales de cada especie y mantener las relaciones proporcionales, la retícula del sistema proporcional andino ecuatoriano permitió este proceso (ver figura 13). El producto del proceso de abstracción sometido a distintos factores de variabilidad enriquece las posibilidades de generación de patrones fractales como se observa en la figura 14.

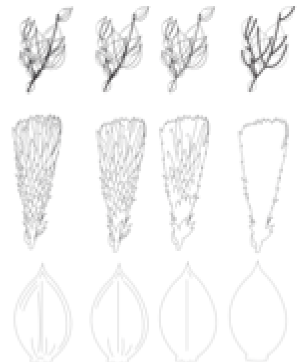


Figura 13. Proceso de abstracción de cada componente de la especie. Especie Chuquiraga jussieui pertenece a la familia Asteraceae.

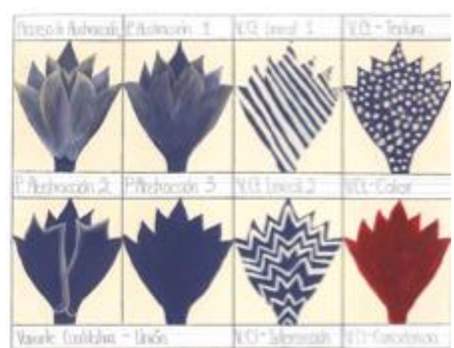


Figura 14. Variantes del producto de la abstracción de la florescencia. Especie valeriana plantaginea de la familia caprifoliaceae.

El resultado del análisis biomorfico a través de las categorías compositivas presenta las diversas posibilidades compositivas de cada especie (ver figuras 15 y 16) para la generación de patrones fractales.

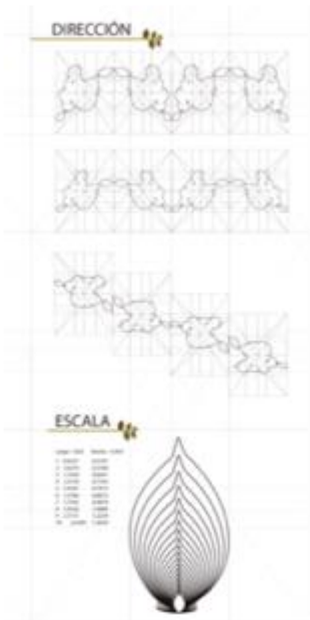


Figura 15. Análisis según categorías compositivas. Especie Chuquiraga jussieui pertenece a la familia Asteraceae.

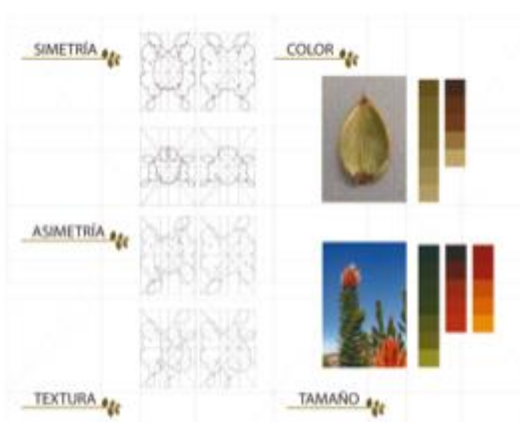


Figura 16 . Análisis según categorías compositivas. Especie Chuquiraga jussieui pertenece a la familia Asteraceae.

Finalmente la generación de patrones fractales se plasman en diferentes productos bidimensionales (ver figura 17) y multidimensionales (ver figuras 19) en diversas piezas gráficas.

Figura 17. Aplicación de patrones fractales en agendas y camisetas

Figura 19 . Posibilidades multidimensionales desde los patrones fractales.

Para el sistema informático, las tecnologías empleadas son de uso libre de última generación como: *Postgresql*, Java, JSF, *Primefaces*, *Payara Server*. Las interfaces del sistema cuentan con diseño "responsive" para la adaptabilidad con los distintos tamaños de pantallas. La página de inicio del sistema se observa en la figura 20.

Figura 20. Página de inicio del Sistema Informático

V. CONCLUSIONES

Se aplicaron los fundamentos de la Geometría Fractal y del Sistema Proporcional Andino Ecuatoriano para el análisis biomorfico de las especies nativas de la provincia de Chimborazo Ecuador en las Reserva Faunística de Chimborazo, Parque Nacional Sangay, Campus ESPOCH especies nativas vivas, e implementarlo en propuestas contemporáneas del diseño sobre distintos soportes.

Se elaboró un registro fotográfico detallado y vectorizado de una muestra representativa de la flora nativa andina de Chimborazo, Ecuador, con la caracterización de cada especie.

Para el análisis de la geometría fractal y proporción andina en la flora nativa andina y la generación de patrones fractales, se aplicó el método DISEÑO FRACTAL ANDINO apoyado en un modelo matemático, desarrollado en la primera investigación.

Se desplegó un sistema informático para procesar los datos y la generación de formas fractales en base a modelos matemáticos.

Por último, se transfirieron los patrones fractales en piezas gráficas con diferentes contenedores.

VI. AGRADECIMIENTOS

Ing. Paúl Paguay docente investigador proyecto-Desarrollador del Software, Ing. Jorge Caranqui docente investigador proyecto-Investigación botánica.

Estudiantes practicantes: Luisa María pilco Romero, Jhoselyn Estefanía Uvidia Carrillo.

Estudiantes ESPOCH de la Facultad de Informática y Electrónica de las carreras de Diseño Gráfico y Software.

VII. REFERENCIAS

Ministerio de Cultura del Ecuador. (2011). *Atlas de infraestructura y patrimonio cultural de las américas: Ecuador* (Primera ed.). México: s/e.

UNESCOCAT. (s/a). *Metodología para el inventrio para el patrimonio cultural inmaterial en las reservas de la biósfera.* Retrieved 08 de Febrero de 2017 from http://parcs.diba.cat/documents/29193465/29468345/Montseny_Metodologia_ES.pdf/e2130062-277a-4e44-8e59-dbcdf1351b24

Tuaza, L. (2012). *Etnicidad, política y religiosidad de los Andes Centrales del Ecuador.* Riobamba: Casa de la Cultura Ecuatoriana Benjamín Carrión Núcleo de Chimborazo.

Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. (2013). *Agenda Zonal Zona 3 Centro.* Retrieved 14 de enero de 2016 from Provincias de Chimborazo, Cotopaxi, Pastaza y Tungurahua 2013-2017: http://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/10/Agenda-zona-3.pdf

Panessi, W., Ortiz, C., Apóstolo, N., & Perroud, C. (2016). Informatización de datos Botánicos de la Universidad Nacional de Luján: un camino al Sistema de Bioinformática de la Institución . *XVIII Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación (WICC 2016, Entre Ríos, Argentina).* , pp. 672-676.

Camarena Sagredo, J. G., Espinosa, A. T., Martínez Reyes, M., & López García, M. (2012). Automatización de la codificación del patrón modelo vista controlador (mvc) en proyectos orientados a la Web. *Ciencia Ergo Sum* , pp. 239-250.

---

[1] Directora del Proyecto de Investigación LA GEOMETRÍA FRACTAL PRESENTE EN LA FLORA NATIVA ANDINA DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO, autora del proceso metodológico Diseño Fractal Andino. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Universidad de Oriente de Santiago de Cuba. jidrobo@espoch.edu.ec

[2] Investigador del Proyecto de Investigación LA GEOMETRÍA FRACTAL PRESENTE EN LA FLORA NATIVA ANDINA DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO, modelado matemático. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, wsanchez@espoch.edu.ec

[3] Investigador del Proyecto de Investigación LA GEOMETRÍA FRACTAL PRESENTE EN LA FLORA

NATIVA ANDINA DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO, base de datos. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, deysi.guanga@espoch.edu.ec

[4] Docente Investigador del Proyecto de Investigación LA GEOMETRÍA FRACTAL PRESENTE EN LA FLORA NATIVA ANDINA DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO, fotografía y edición. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, edisonmartineze@gmail.com

[5] Investigadora externa del Proyecto de Investigación LA GEOMETRÍA FRACTAL PRESENTE EN LA FLORA NATIVA ANDINA DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO, video y Diseño Gráfico. Oficce soluciones, escobarisabel90@gmail.com

Dirección: Panamericana Sur Km 1 y 1/2
Teléfonos: 0032998200 Ext.: 2626
E-mail: jidrobo@espoch.edu.ec
https//disenoandino.espoch.edu.ec