

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE CIENCIAS PURAS Y NATURALES
CARRERA DE INFORMÁTICA**



TESIS DE GRADO

**“DISEÑO ARQUEOLÓGICO TIWANACOTA VIRTUAL MEDIANTE
AUTÓMATAS CELULARES”**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE LICENCIATURA EN INFORMÁTICA
MENCIÓN: INGENIERÍA DE SISTEMAS INFORMÁTICOS

POSTULANTE: HERIBERTO WILSON QUISPE SALGADO
TUTOR METODOLÓGICO: M. Sc. JORGE HUMBERTO TERÁN POMIER
ASESOR: M. Sc. ELIZABETH L. GARCÍA ESCALANTE

LA PAZ – BOLIVIA

2015



**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE CIENCIAS PURAS Y NATURALES
CARRERA DE INFORMÁTICA**



LA CARRERA DE INFORMÁTICA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS PURAS Y NATURALES PERTENECIENTE A LA UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS AUTORIZA EL USO DE LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO SI LOS PROPÓSITOS SON ESTRICTAMENTE ACADÉMICOS.

LICENCIA DE USO

El usuario está autorizado a:

- a) visualizar el documento mediante el uso de un ordenador o dispositivo móvil.
- b) copiar, almacenar o imprimir si ha de ser de uso exclusivamente personal y privado.
- c) copiar textualmente parte(s) de su contenido mencionando la fuente y/o haciendo la referencia correspondiente respetando normas de redacción e investigación.

El usuario no puede publicar, distribuir o realizar emisión o exhibición alguna de este material, sin la autorización correspondiente.

TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS. EL USO NO AUTORIZADO DE LOS CONTENIDOS PUBLICADOS EN ESTE SITIO DERIVARA EN EL INICIO DE ACCIONES LEGALES CONTEMPLADOS EN LA LEY DE DERECHOS DE AUTOR.

Índice general

Dedicatoria.....	i
Agradecimientos.....	ii
Resumen.....	iii
Abstract.....	iv
Índice específico.....	v
Lista de abreviaturas.....	viii
Índice de algoritmo.....	viii
Índice de cuadros.....	viii
Índice de figuras.....	ix
Índice de fórmulas.....	ix
Índice de fotografías.....	x
Índice de signos primarios.....	x
Introducción.....	xii
CAPÍTULO I MARCO PRELIMINAR.....	1
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	10
CAPÍTULO III MARCO APLICATIVO.....	25
CAPÍTULO IV EPÍLOGO.....	57
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	71
ANEXOS	
Anexo A Árbol de problemas.....	75
Anexo B Árbol de objetivos.....	76
Anexo C Fuentes de recopilación de información.....	77
Anexo D Actividades complementarias.....	80
Anexo E Escenarios y objetos virtuales tridimensionales.....	84
Anexo F Real positiva de la Figura central de la portada del Sol.....	88
Anexo G Imagen negativa de la Figura central de la portada del Sol.....	89
DOCUMENTOS.....	90

Dedicatoria

Dedico este trabajo con honores a mis padres queridos Asunta Salgado Gutiérrez y Rosendo Quispe por el apoyo brindado en todo momento especialmente en las circunstancias más difíciles, pues sin su abnegada colaboración, la culminación de la carrera hubiese sido inexpugnable...

Agradecimientos

Mis humildes agradecimientos a Dios, Creador de los cielos y de la Tierra, al ente matriz de la Universidad Mayor de San Andrés por cobijarme muchos años, al plantel administrativo por ser la guía de los destinos de la carrera. Quiero expresar mi más profundo respeto al plantel docente por impartir y compartir su conocimiento y finalmente agradecer a los Sres. bibliotecarios don Fernando y don Daniel que son amigos de los libros...

Resumen

Las investigaciones realizadas acerca de la cultura tiwanacota traen consigo cierto aire mítico de misterio y de misticismo que hasta la fecha sigue en el terreno de la especulación y de la conjetura. Desde el campo de la astronomía hasta la geometría se trata de explicar su simbolismo, su iconografía y sus jeroglíficos tan perfectamente esculpidos en su arte inimitable. En este entendido, el propósito de este trabajo es reducir, en parte, ese grado de incertidumbre que rodea a las maravillosas construcciones arqueológicas, a los monumentos y a las edificaciones, actualmente en estado de ruinas arqueológicas.

Las áreas que no pueden pasar desapercibidas en estos estudios son la ciencia informática y el avance de la tecnología que con el auxilio de modelos computacionales, de programas y de algoritmos que se relacionan matemáticamente con el diseño de tales estructuras. Para este cometido, en el presente trabajo de investigación, se analiza los símbolos primarios o llamados también, signos primos, los cuales en su procesamiento cumplen una ley de formación sujeta a tres vertientes modulares: el nacimiento, la sobrevivencia y la muerte. Es el modelo del “*juego de la vida*” propuesto por el matemático John Conway en 1970 en la teoría de los autómatas celulares. Luego, se construye una clase de patrones de recurrencia que están lógicamente y matemáticamente relacionados entre sí, los cuales generan ya sea en forma parcial o total los diseños de las piezas arqueológicas (tanto en su estructura como en su composición). Todo este proceso se llama la geometría tiwanacota.

Finalmente, se realiza un catálogo de todas las piezas generadas para su correspondiente informe en las conclusiones, justificando así la relación problema-objetivos-hipótesis trazada en este trabajo y cuyo alcance es potencialmente multidisciplinario.

Palabras claves: Modelo del juego de la vida, autómatas celulares, geometría tiwanacota, signos primarios, patrones de recurrencia, relación de equivalencia, diseño arqueológico tiwanacota.

Abstract

The achieved researches about tiwanacota culture get some mythic air of mystery and mysticism which to date continuous in the land of speculation and conjecture. From the field of astronomy to geometry it comes to explaining its symbolism, iconography and hieroglyphs, so perfectly sculpted in his inimitable art. In this understanding, the purpose of this work is to reduce, partly, that degree of uncertainty surrounding the wonderful archaeological constructions, monuments and buildings now in archaeological ruins state.

The areas that can not be overlooked about these studios are informatics science and advance of technology which with help of computation models, programs and algorithms related mathematically with the design of these structures. For this purpose, in the present research work are analyzed either the primary symbols or named too, prime signs, which over its processing accomplish a formation law that are subjected to three modular slopes: birth, survival and death. It's the "game of life" model proposed by the mathematical John Conway in 1970 about cellular automata theory. Then, a kind of recurrence patterns is constructed that logic and mathematically related to oneself which generate in form either total or partial the designs of archeological pieces (either in his structure like composition). All this process is oriented to called tiwanacota geometry.

So, a rol is achieved about the all pieces generated to its report that correspond in the conclusions, justifying thus the relation problem-objectives-hypothesis delineated in this work and its scope is potentially multidisciplinary.

Keywords: *Game-of-life model, cellular automata, tiwanacota geometry, prime signs, recurrence patterns, equivalence relation, tiwanacota archeological design.*

Índice específico

1. CAPÍTULO I	MARCO PRELIMINAR	
Resumen.....		1
1.1 Antecedentes.....		1
1.2 Situación problemática.....		3
1.3 Objetivos.....		5
1.3.1 Objetivo general.....		5
1.3.2 Objetivos específicos.....		5
1.4 Hipótesis.....		5
1.5 Justificación.....		6
1.5.1 Justificación económica.....		6
1.5.2 Justificación social.....		6
1.5.3 Justificación técnico-científica.....		7
1.6 Alcances.....		7
1.6.1 Alcance material.....		7
1.6.2 Alcance espacial.....		8
1.6.3 Alcance temporal.....		8
1.7 Delimitación del problema.....		8
1.8 Aportes.....		9
2. CAPÍTULO II	MARCO TEÓRICO	
Resumen.....		10
2.1 La geometría tiwanacota.....		10
2.1.1 La geometría de la cosmovisión.....		10
2.1.1.1 <i>Teorema A.</i> Teorema de la cruz del sur.....		12
2.1.1.2 <i>Teorema B.</i> Teorema de Tiwanaku.....		13
2.1.1.3 Cruces originales y progresionales.....		13
2.1.2 La geometría de la microcosmovisión.....		15
2.1.2.1 <i>Teorema C.</i> Teorema de la aureola.....		16

2.1.3	La geometría de la naturaleza.....	17
2.2	Sistemas dinámicos.....	18
2.2.1	Sistemas determinísticos.....	19
2.2.2	Sistemas probabilísticos.....	20
2.2.3	Sistemas complejos.....	20
2.2.3.1	Los autómatas celulares.....	22
2.2.3.1.1	El algoritmo del juego de la vida.....	22
2.2.3.1.2	Tipos de patrones.....	23
3.	CAPÍTULO III MARCO APLICATIVO	
	Resumen.....	25
3.1	Aplicación del modelo del juego de la vida.....	25
3.1.1	Introducción a los signos primarios.....	26
3.1.2	Análisis del signo escalonado.....	36
3.1.3	Análisis de la extensión de la unidad.....	50
4.	CAPÍTULO IV EPÍLOGO	
	Resumen.....	57
4.1	Estado de los resultados de la investigación.....	57
4.1.1	Estado de la problemática.....	57
4.1.2	Estado de los objetivos.....	58
4.1.2.1	Estado del objetivo general.....	58
4.1.2.2	Estado de los objetivos específicos.....	59
4.1.3	Estado de la hipótesis.....	60
4.2	Conclusiones.....	68
4.3	Recomendaciones.....	69
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	71

ANEXOS

ANEXO A	Árbol de problemas.....	75
ANEXO B	Árbol de objetivos.....	76
ANEXO C	Fuentes de recopilación de información.....	77
ANEXO D	Actividades complementarias.....	80
ANEXO E	Escenarios y objetos virtuales tridimensionales.....	84
ANEXO F	Real positiva de la Figura central de la portada del Sol.....	88
ANEXO G	Imagen negativa de la Figura central de la portada del Sol.....	89
DOCUMENTOS	90

Lista de abreviaturas

AA.CC.	Autómatas celulares.....
<i>Gen</i>	Generación.....
<i>Gen i-∞</i>	Generación i hasta la generación infinita.....
i. e.	Expresión latina “id est” que significa “esto es”.....
<i>SP</i>	Signo Primario.....
<i>(SP i, Gen j)</i>	(Signo Primario i, Generación j).....

Índice de algoritmo

Algoritmo 1	Modelo del juego de la vida.....	22
-------------	----------------------------------	----

Índice de cuadros

Cuadro 1	Períodos de la cultura tiwanacota.....	83
Cuadro 2	Tipos de patrones en el modelo del juego de la vida.....	23
Cuadro 3	Catálogo de patrones de recurrencia.....	60
Cuadro 4	Símbolos generados mediante autómatas celulares.....	62
Cuadro 5	Símbolos generados parcialmente mediante autómatas celulares.....	63
Cuadro 6	Equivalencia de signos primarios.....	64
Cuadro 7	Cruces progresionales generados mediante autómatas celulares.....	65
Cuadro 8	Cálculo de la progresión de las cruces originales.....	67

Índice de figuras

Figura 1	La constelación de la Cruz del Sur.....	11
Figura 2	Primera proyección de la Cruz del Sur.....	11
Figura 3	La proporción sagrada.....	12
Figura 4	Cruces progresionales de la Cruz del Sur.....	14
Figura 5	Cruces dinámicas.....	14
Figura 6	Diversas formas del signo escalonado.....	15
Figura 7	La aureola de la portada del Sol.....	16
Figura 8	Cuadrado mágico de Tiwanaku.....	17
Figura 9	Diagrama de la geometría tiwanacota.....	18
Figura 10	El signo escalonado de Posnansky.....	30
Figura 11	El símbolo de la cruz cuadrada.....	30
Figura 12	Expresión ritual de la fórmula básica de la cruz cuadrada.....	31
Figura 13	Dios Viracocha.....	34
Figura 14	El pedestal de la Figura central.....	36
Figura 15	El símbolo en forma de wakulla.....	37
Figura 16	Pedestal compuesto de 28 células.....	40
Figura 17	Adaptación de carita tiwanacota.....	42
Figura 18	Figura central de la Puerta del Sol.....	43
Figura 19	El signo Z.....	46
Figura 20	Adaptación de cabeza de cóndor.....	47
Figura 21	Cabeza de cóndor en la Figura central.....	48
Figura 22	Adaptación de cabeza de llamita.....	48
Figura 23	Representación de carita de llamita en la Figura central.....	48
Figura 24	Rostro de felino generado por un autómata celular.....	49
Figura 25	El signo pedestal largo.....	55

Índice de fórmulas

Fórmula 1	Relación de los brazos de la Cruz del Sur.....	12
Fórmula 2	Teorema de Pitágoras.....	13
Fórmula 3	Cálculo del número de células posibles en una cruz progresional.....	67

Índice de fotografías

Fotografía 1	Monolito Ponce.....	27
Fotografía 2	Estructura en palacio de Putuni.....	28
Fotografía 3	Patio de Khericala.....	28
Fotografía 4	Reconstrucción ideal de la pirámide de Akhapana.....	33
Fotografía 5	Ruinas en la pirámide de Pumapunku.....	37
Fotografía 6	Carita tiwanacota.....	42
Fotografía 7	Unión de bloques H en la pirámide de Pumapunku.....	54

Índice de signos primarios

INTRODUCCIÓN A LOS SIGNOS PRIMARIOS

<i>SP 0</i>	El espacio vacío.....	26
<i>SP 1</i>	La unidad periódica.....	26
<i>SP 2</i>	La chakana.....	27
<i>SP 3</i>	Variante de la chakana.....	29
<i>SP 4</i>	El signo gamma.....	29
<i>SP 5</i>	Asimetría del signo gamma.....	29
<i>SP 6</i>	El signo gamma a otra escala.....	30
<i>SP 7</i>	El signo gancho.....	31
<i>SP 8</i>	El signo tau.....	35
<i>SP 9</i>	El signo luchu o arco.....	35

ANÁLISIS DEL SIGNO ESCALONADO

<i>SP 10</i>	Signo escalonado de dos escalones.....	36
<i>SP 11</i>	Signo tau corto.....	36
<i>SP 12</i>	Concatenación de dos signos escalonados.....	38
<i>SP 13</i>	Variante de dos signos escalonados.....	38
<i>SP 14</i>	Signo extendido de dos escalones.....	38
<i>SP 15</i>	Signo escalonado extendido completo.....	38
<i>SP 16</i>	Variante del signo escalonado.....	39
<i>SP 17</i>	El signo escalonado y una unidad periódica.....	41
<i>SP 18</i>	El signo Zeta de Posnansky.....	41
<i>SP 19</i>	El signo Zeta.....	46
<i>SP 20</i>	Forma de una carita.....	47
<i>SP 21</i>	Signo escalonado de cuatro escalones.....	49

ANÁLISIS DE LA EXTENSIÓN DE LA UNIDAD

<i>SP 22</i> La unidad de cuatro células.....	50
<i>SP 23</i> La unidad de cinco células.....	50
<i>SP 24</i> La unidad de seis células.....	50
<i>SP 25</i> La unidad de siete células.....	51
<i>SP 26</i> La unidad de ocho células.....	51
<i>SP 27</i> La unidad de nueve células.....	52
<i>SP 28</i> La unidad de diez células.....	53
<i>SP 29</i> El signo pedestal largo.....	55

Introducción

En la literatura se escribe con bastante frecuencia acerca de los misterios que rodea a la cultura tiwanacota, una enigmática civilización cuyo foco principal se ubica a 72 Km. de la ciudad de La Paz (en la provincia Ingavi). En cada una de sus obras artísticas, hoy en estado de ruinas arqueológicas, se observa una geometría propia de los semidioses cuya descripción es prácticamente inefable. ¿Dónde están los planos para el diseño de colosales estructuras? ¿Quién es el arquitecto encargado del proyecto tiwanacota? si vale la expresión. ¿Cómo se transportaron los arquetipos de piezas...? En fin, son muchas interrogantes que los estudiosos se dedican a investigar y tratar de responder con criterios científico, filosófico y religioso.

Este trabajo encara el proceso investigativo bajo tres puntos de vista: el primero, un estudio acerca del avance de la geometría tiwanacota que postulan los diferentes investigadores; el segundo, un análisis computacional de la iconografía y del simbolismo tiwanacotas recurriendo al modelo de autómatas celular conocido como el juego de la vida, capaz de generar objetos tiwanacotas. Finalmente, el proceso de virtualización tridimensional de los objetos generados por el mencionado modelo. El objeto de estudio son los signos primarios llamados así a las unidades simbólicas más elementales como el signo escalonado o el signo gamma. Estos signos primarios se relacionan con los diseños arqueológicos tiwanacotas ya sea por su forma, por su composición o conceptualmente. Entiéndase por diseño arqueológico a toda obra artística –porqué no científica- en litoescultura, en textilería, en orfebrería, etc. tanto estructural como composicional, es decir, en su forma exterior y en sus inscripciones, respectivamente. La técnica de estudio que se emplea en este desarrollo es la madre de las metodologías de investigación conocido como el método científico. Luego se enfatiza en el método analítico por inducción y el método de la analogía. Los resultados son una clase de patrones de recurrencia¹ sobre los cuales es posible reconstruir en forma total o parcial los diseños arqueológicos de la civilización tiwanacota.

¹ Patrones de recurrencia, resultan de los signos primarios con la diferencia que se repiten una y otra vez en el procesamiento.

Así, la finalidad de este trabajo es mostrar el simbolismo de los signos primarios con los diseños arqueológicos mediante este modelo computacional y confirmar el gran conocimiento científico, tecnológico y artístico alcanzado por esta civilización y constituirse además en una alternativa de fomento al capital turístico desde una óptica totalmente diferente. Las fotografías que se referencian corresponden a una visita realizada por el grupo de “*Turismo virtual y digital en los municipios del departamento de La Paz*” a la localidad de Tiwanaku encabezado por la M. Sc. Elizabeth García E. coordinadora del proyecto en fecha Junio del 2013. Una antología de los objetos y escenarios virtuales se muestran en el Anexo E implementados en el Lenguaje de Modelación de Realidad Virtual (VRML, Virtual Reality Modeling Language) en su versión 2.0 y en el programa de diseño gráfico y modelado en tres dimensiones llamado SketchUp Pro 8.0. El visor recomendado de estos objetos y mundos virtuales en tres dimensiones es el plug-in o complemento para programas de navegación web llamado Cortona3D Viewer por su carácter versátil, ligero y transportable a la red de internet.

CAPÍTULO 1

MARCO PRELIMINAR

Resumen

Este capítulo introduce en el proceso de investigación con un referente a los avances logrados en materia tecnológica sobre el estudio de las piezas arqueológicas tiwanacotas (antecedentes). Luego se plantea la relación problema-objetivos-hipótesis que persigue el trabajo y finalmente describese las justificaciones, los alcances, la delimitación del problema y los aportes correspondientes.

1.1 Antecedentes

El estudio de la matemática existente en la milenaria cultura tiwanacota no sólo concita el interés de los arqueólogos y de los turistas, sino también de los ingenieros, de los arquitectos e incluso de las personas versadas en la ciencia de la biología. En la geometría, por ejemplo, se propone postulados y teoremas como el cuadrado mágico de Tiwanaku, la búsqueda andina del número inconmesurable π , la proporción de la cruz cuadrada entre otros. Todos ellos con demostraciones que la matemática pura exige (geométricas, trigonométricas e inclusive astronómicas). Utilizando un enfoque de cosmovisión andina, es decir, la estrecha relación de sus diseños arqueológicos² con la mecánica estelar o movimiento de los astros se trata de interpretar las inscripciones, el simbolismo y la iconografía.

Las investigaciones se orientan primero a establecer la datación aproximada o exacta del apogeo de esta cultura³ en la forma circular del tiempo, tanto histórica como geológica. Luego se busca evidencias arqueológicas de la manera cómo se construyeron las colosales estructuras, los monumentos y las edificaciones. Finalmente, se intenta decodificar la geometría tiwanacota y su relación con algún sistema sea éste interestelar, con la misma madre Natura y con los procesos a nivel molecular o microcósmicos.

² Diseño arqueológico, toda obra artística de la cultura tiwanacota tanto en escultura, en textilería, en cerámica, etc. como en estructuras (piezas, edificaciones y monumentos).

³ Cultura, palabra que se confunde con civilización, para aclarar el panorama (consúltese Anexo D, Cultura y civilización). En este trabajo esta acepción se utiliza indistintamente.

Los siguientes trabajos describen los estudios computarizados sobre esta temática, los trabajos realizados en la restauración de piezas arqueológicas utilizando el avance tecnológico:

- En el Centro de Investigaciones Arqueológicas en Tiwanaku, CIAT (véase Anexo D, Historia de la CIAT), especializado en la protección, exhibición de piezas recuperadas y la conservación de los mismos, en diferentes gestiones se realizaron trabajos de restauración manual del Templete Semisubterráneo y del Templo de Kalasasaya.
- En el año 1985, con respecto al estudio de la iconografía del monolito Bennett, el Instituto Nacional de Arqueología (INAR) ahora CIAT comenzó una serie de estudios de conservación de la pieza, habiéndose llegado a la conclusión de la necesidad de ubicarlo en Tiwanaco en un ambiente controlado para su mejor cuidado. En el análisis fue incorporado un equipo científico del Getty Conservation Institute de Los Ángeles (USA) que instaló un sofisticado sistema automático de monitores de clima para el proceso de preservación a los que fue sometida la pieza con la utilización de fluosilicatos. Técnicos del INAR hicieron un levantamiento fotográfico computarizado de su rica iconografía y estudios apoyados en complicados programas computarizados, según el artículo *Nuevas tecnologías al servicio de la preservación del pasado histórico*. (1997, 15 de junio). Actualmente, respecto del estado del monolito Bennet, no existe siquiera un solo reporte técnico oficial relacionado con su iconografía computarizada.
- Del artículo *Espíritu del Antiguo Perú en San Francisco* (1997, 13 julio): En la exposición del Young Memorial Museum de San Francisco dedicada al “Espíritu del antiguo Perú” con 175 obras maestras de la colección del Museo Arqueológico Rafael Largo de Lima se instaló una novedad electrónica realizada por técnicos de la Universidad de Stanford para que los visitantes puedan efectuar una “visita virtual” al pasado histórico y arqueológico del Perú, usando una computadora a su disposición, donde el usuario puede hacer cualquier pregunta sobre la muestra en sí

misma y las culturas peruanas: la respuesta aparece graficada y detallada en una pared de la última sala.

- En la Universidad de Granada (España), Melero, León & Tórriz (2001) del Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos realizaron la reconstrucción interactiva de un objeto de cerámica utilizando algoritmos genéticos, el resultado final es un dibujo arqueológico que sigue los estándares de la arqueología y sobre el cual se realizan medidas y un modelo tridimensional de la pieza reconstruida.

En nuestro país, las investigaciones sobre las piezas tiwanacotas con medios informáticos son incipientes. En la carrera de informática de la Universidad Mayor de San Andrés se tienen dos tesis:

- Una de ellas se titula *“Reconocimiento e interpretación de iconografía tiwanakota mediante Redes Neuronales artificiales”* cuyo autor Cuevas (2009) se basa en la iconografía de símbolos simples como el pez, el puma y el cóndor. Utiliza el modelo perceptrón multicapa con el algoritmo de red de propagación.
- El otro trabajo presentado es *“Cálculo de dimensión fractal de imágenes”* donde su autor Sirpa (1999) emplea los métodos de cobertura de cajas y de similitud por duplicación. Asimismo, aplica la geometría euclidiana y realiza el cálculo de la dimensión para figuras bidimensionales.

1.2 Situación problemática

En los restos arqueológicos de la civilización tiwanacota es posible evidenciar tanto en sus inscripciones como en sus trazos ciertos conceptos geométricos y propiedades como la simetría, la reflexividad y la transitividad que lleva a numerosos investigadores a identificar signos primarios, tal es el caso del arqueólogo Sagárnaga (2007) refiriéndose a una máscara:

...Y a propósito de símbolos existe un signo primario de principal importancia y que no podemos olvidarlo es precisamente el trapecio invertido con las esquinas romas, que es el soporte invariante de la máscara que nos ocupa. Esa misma figura geométrica aparece en otras representaciones de importancia como son los grandes incensarios zoomorfos y otras formas cerámicas. En tales casos, los rostros modelados de felinos o aves suelen llevar estos signos alrededor del cuello. La recurrencia de este signo en la iconografía vinculada a lo ceremonial, sugiere un carácter sagrado del mismo en potencia. (p. 47).

Esta descripción de un signo primario se refuerza con la siguiente posición del columnista Schwarzberg (2004) refiriéndose a la chakana o cruz andina:

La cruz expresa unión de la polaridad manifestando en sus sentimientos de tripartición de la verticalidad y de dualidad en la horizontalidad. Constituye la síntesis del sistema de leyes de la acción armónica y de la composición de la iconología geométrica andina. Simbólicamente este signo conjuga los planos de significación en cuya síntesis se originan las connotaciones geométricas, métricas y naturalistas del pensamiento humano. (p. 15).

Entiéndase por signo primario (término introducido por el Ing. austríaco Arthur Posnansky en 1913) a toda información que se puede obtener de los diseños arqueológicos tiwanacotas capaz de ser procesado computacionalmente. La búsqueda e identificación de signos primarios se manifiesta con Posnansky (1913) quien clasifica los signos en base a uno principal: el signo escalonado que se estudia en el Capítulo 2. Si estos signos pueden ser analizados mediante un procesamiento computacional y considerarlos como parte de un modelo evolutivo entonces cuáles son los modelos que corresponden para este análisis. Asimismo, está el hecho de formalizar matemáticamente estos signos primarios e introducir –como hipótesis- el término *patrón de recurrencia*, es decir, aquellos signos que se invocan o se repiten una y otra vez durante el procesamiento y que permiten formar estructuras complejas. De todo esto y poniendo como tapete a los modelos evolutivos como el juego de la vida dentro de la teoría de los autómatas celulares, se formula la siguiente pregunta de investigación (véase Anexo A, Árbol de problemas):

¿Cómo analizar geoméricamente el procesamiento de patrones de recurrencia a partir de la búsqueda e identificación de signos primarios en los diseños arqueológicos tiwanacotas tales que permita generar iconografía, simbolismo y estructuras tiwanacotas y cuya base es el modelo de autómatas celular conocido como el juego de la vida?

1.3 Objetivos

Para describir los objetivos del presente trabajo y contar con una perspectiva más amplia (véase Anexo B, Árbol de Objetivos):

1.3.1 Objetivo general

Analizar geoméricamente el procesamiento computarizado de los signos primarios y de los patrones de recurrencia, los cuales se obtienen de los diseños arqueológicos de la civilización tiwanacota y cuya base teórica es el modelo matemático de autómata celular conocido como el juego de la vida.

1.3.2 Objetivos específicos

- a) Identificar los signos primarios inscritos o circunscritos en los diseños arqueológicos para su procesamiento.
- b) Catalogar en un cuadro gráfico los signos primarios y los patrones de recurrencia generados con el modelo matemático de autómata celular el juego de la vida.
- c) Diseñar un prototipo de modelos virtuales tridimensionales con las configuraciones generadas por el modelo del juego de la vida.
- d) Introducir el término “operaciones aritméticas y lógicas” en el análisis de los signos primarios.

1.4 Hipótesis

La hipótesis que formula la investigación es la siguiente:

En los diseños arqueológicos tiwanacotas existen patrones de recurrencia tales que mediante la búsqueda e identificación de signos primarios y con base en el modelo de procesamiento matemático de autómata celular el juego de la vida, es capaz de generar la iconografía, las estructuras y el simbolismo propios de esta cultura.

En esta hipótesis la variable independiente es el conjunto de signos primarios a manipular en términos de unidades celulares, la variable dependiente se constituye los objetos virtuales generados por el programa del juego de la vida y la variable modeladora son los signos primarios obtenidos directamente desde el simbolismo, la iconografía y las representaciones estructurales propios de esta cultura.

1.5 Justificación

1.5.1 Justificación económica

El costo de emprender esta investigación comprende las visitas a realizar al Complejo Arqueológico de Tiwanaku⁴ ubicado en la cercana localidad de Tiwanaco a 72 Km. del departamento de La Paz. También se añade la serie de visitas a los museos, a las bibliotecas y a los centros culturales. Para tales cometidos se emplea dispositivos tecnológicos como: una videocámara o un teléfono celular y una computadora portátil o laptop. El uso de herramientas de software libre para el proceso de análisis de patrones y la consiguiente virtualización, además del empleo de un servidor web de carácter gratuito para la publicación de los resultados en línea.

Como contrapartida, el beneficio de los resultados de esta investigación es apoyar la actividad turística del país utilizando el sistema Internet y atrayendo más capital humano como turistas nacionales y extranjeros.

1.5.2 Justificación social

El impacto de los resultados de esta propuesta en el contexto social se da en tres estamentos claramente diferenciados: gubernamental o autoridades, intelectual y el público en general. En lo gubernamental, una toma de conciencia del cuidado y preservación de esta heredad no por algo declarado por la UNESCO como Patrimonio Cultural de la Humanidad (véase Anexo D, Declaración oficial). En lo intelectual, coadyuvar con la capacidad investigativa de los docentes, de los investigadores, de los educandos y del

⁴ Tiwanaku, término de escritura polifacética (véase Anexo D, Etimología de la palabra Tiwanaco).

público en general, para que se revalorice el patrimonio incontrastable dejado por nuestros antepasados.

La identificación de signos primarios en los diseños arqueológicos, por presentar los mismos patrones, se consituye en una clara evidencia de aquellos objetos sustraídos y que están dispersos en los museos extranjeros.

1.5.3 Justificación técnico-científica

La naciente ciencia *tiwanacología*, término creado por el Ing. Molina (1995, p. 349), en el presente trabajo se revitaliza con la introducción de modelos y programas informáticos aplicables a los postulados y teoremas que conjuntamente coadyuvan al proceso de investigación y a su correspondiente demostración. Al incorporar recursos informáticos en el proceso de la investigación se incrementa el significado potencial tanto epistemológico como técnico-científico de los objetos de estudio: los signos primarios y los patrones de recurrencia. Asimismo, se amplía el horizonte de tener mayores alternativas de formular nuevas hipótesis.

1.6 Alcances

La terna materia-tiempo-espacio que corresponde a la presente tesis se describe a continuación:

1.6.1 Alcance material

La investigación abarca diferentes esferas del saber que lo nutren directa o indirectamente. Menciónase con prioridad la matemática (geometría), la informática y los sistemas evolutivos. Éste último encadena a otra ciencia como la biología en los procesos evolutivos y los sistemas complejos. También se considera el arte manifestado en sus relieves, sus motivos⁵ y sus diseños que fichan a los campos arquitectónico y arqueológico; además de la escultura, de la cerámica y de la textilería entre otros. Si se considera su conocimiento como un fenómeno interestelar entonces está ligado a la física, a la astronomía y a la astrología.

⁵ Motivo, en arte es un rasgo característico que se repite en una obra o en un conjunto de ellas.

1.6.2 Alcance espacial

Como consecuencia del carácter multidisciplinario descrito en la anterior sección, los resultados logrados describen una ley de formación armoniosa y simétrica capaces de explicar la procedencia histórica socio-cultural de esta enigmática civilización, el origen mismo de sus diseños arqueológicos, su interrelación con otras civilizaciones (no sólo terráqueas) pues los patrones de recurrencia obedecen a las mismas leyes universales.

En el proceso de la investigación, el alcance espacial de esta propuesta tiene su epicentro en el sitio arqueológico del municipio de Tiwanaku, la visita a los centros de investigación arqueológicos y a las fundaciones culturales (Anexo C).

1.6.3 Alcance temporal

Así como los axiomas, los enunciados y los teoremas de la matemática y de la física quedan establecidos en todas las épocas; en este estudio, los patrones de recurrencia sujeto a las condiciones de los modelos matemáticos descritos quedan clasificados y catalogados en una especie de atemporalidad.

Ahora, en el proceso investigativo, este trabajo se centra en la continuidad cultural establecido por Ponce (citado por Ibarra, 1992), es decir, considera los mismos rasgos característicos entre períodos de la civilización tiwanacota. Según los exámenes de las pruebas de carbono 14 que señalan una fecha de fundación anterior al 1.500 a. C., cuando por razones desconocidas, todos los trabajos se paralizaron en torno al 1.150 d. C. (véase Anexo D, Cuadro 1).

1.7 Delimitación del problema

A consecuencia de la abundante literatura sobre la simbología de la cultura tiwanacota, las restricciones del presente trabajo se mencionan a continuación:

- a) Evita las tentativas interpretaciones que portarían los símbolos e iconografía en la forma de mensajes apocalípticos o los misterios que puede encerrar.

- b) Exclúyese de una posible clasificación del período a que correspondería una determinada estructura o pieza generada.
- c) Solamente se enfoca en aquellos diseños arqueológicos que presenten características geométricas rectangulares y diagonales.
- d) Tampoco se pretende descifrar ningún código o enigma del simbolismo tiwanacota.

1.8 Aportes

Son aportes de la presenta tesis:

- a) Un estudio sistematizado de los signos primarios y la introducción de herramientas informáticas en su procesamiento.
- b) La introducción de la aritmética de signos primarios con conceptos de la teoría de la computación como la composición, la proyección y la recursión que facilitan el proceso de construcción.
- c) Un proceso de virtualización de figuras y piezas generadas basado en un modelo matemático como el juego de la vida.
- d) La apertura hacia un estudio sistémico y con mayor profundidad con respecto a la posible interrelación con otras civilizaciones del mundo.
- e) La diferencia de procesos metodológicos de investigación: el análisis geométrico tradicional contra el análisis geométrico basado en modelos computacionales.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

Resumen

En el capítulo dos se expone el avance de los trabajos de investigación sobre la matemática tiwanacota, el cual comprende dos tópicos: el primer tópico teoriza los teoremas de la matemática tiwanacota considerado como un auténtico sistema evolutivo dinámico. En el segundo tópico se describe la teoría de los autómatas celulares con el modelo del juego de la vida y los tipos de patrones.

2.1 La geometría tiwanacota

El estudio de la matemática tiwanacota se enfoca bajo un punto de vista geométrico, según los postulados de los principales autores como: Milla, Amaru y Molina. Esta geometría comprende tres tópicos lógicamente relacionados:

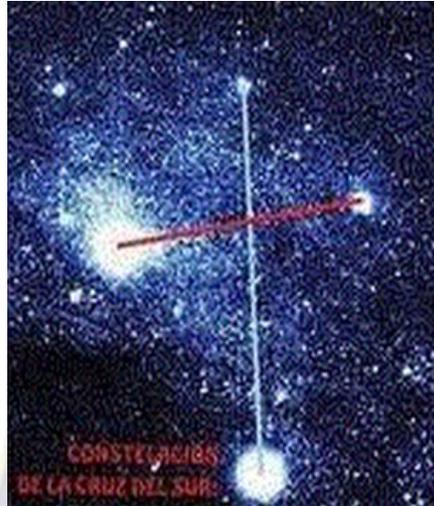
- La geometría de la cosmovisión
- La geometría del microcosmos
- La geometría de la naturaleza

2.1.1 La geometría de la cosmovisión

La cosmovisión⁶ tiwanacota se refiere a la relación geométrica existente entre los diseños arqueológicos y la mecánica estelar o movimiento de los astros el cual marca el ritmo de las siembras y las cosechas, los solsticios y los equinoccios, la calendarización, etc. Tiene como base esencial a la constelación de la Cruz del Sur (véase Figura 1), “un conjunto de estrellas del hemisferio austral en la franja de la Vía Láctea a la cual pertenece nuestra galaxia, muy conocida por todos los autóctonos y culmina en mayo casi coincidiendo con la festividad de la Santa Cruz” (Milla, 1995, p. 243). Fue descubierto por el navegante Vasco de Gama en el año 1497 en el cielo meridional del extremo sur de África y luego fue catalogado en 1603.

⁶ Cosmovisión, acepción por macrocosmos o la visión del universo.

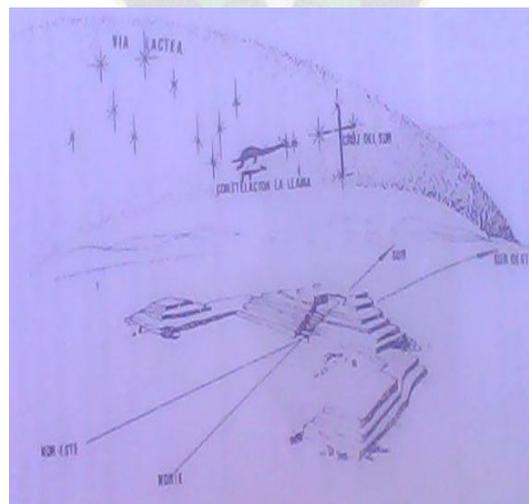
Figura 1. La constelación de la Cruz del Sur.



Fuente: Milla (1995, p. 288)

De la constelación de la Cruz del Sur se obtiene tres proyecciones que se demuestran en los llamados “teoremas andinos”. La primera proyección de los puntos cardinales se refiere a la carga de equilibrio acumulada en el entrecruce de las diagonales cuyo centro proyecta directamente al actual sitio arqueológico de Tiwanaku (Figura 2):

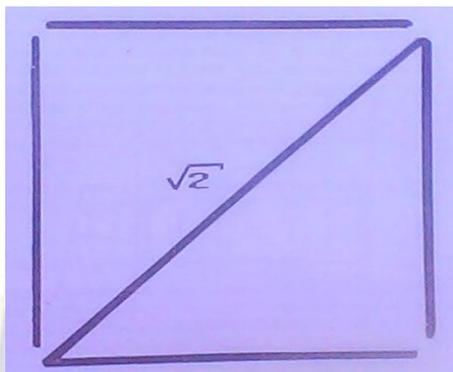
Figura 2. Primera proyección de la Cruz del Sur.



Fuente: Milla (1995, p. 282).

La segunda proyección de la constelación de la Cruz del Sur se halla en las proporciones de los brazos de la cruz: la *proporción sagrada* (Figura 3) que le sirvió de base matemática y religiosa. (Amaru, 1996).

Figura 3. La proporción sagrada



Fuente: Amaru (1996, p. 152)

Este punto de vista deriva en un primer teorema andino (*Teorema A*) que se relaciona con la constelación de la Cruz del Sur.

2.1.1.1 Teorema A. Teorema de la Cruz del Sur

El arquitecto peruano Milla (citado por Amaru, 1996) demuestra en su libro *Génesis de la cultura andina* el teorema de la Cruz del Sur que indica lo siguiente: “La relación **B** de los brazos de la Cruz del Sur es exactamente el lado de un cuadrado (*lado*) y su diagonal que es $\sqrt{2}$ (la raíz cuadrada de dos)” como se expresa en la siguiente (Fórmula 1):

Fórmula 1. Relación de los brazos de la Cruz del Sur.

$$B = \text{lado} * \sqrt{2}$$

Fuente: Amaru (1996, p. 146).

El siguiente teorema central o de Tiwanaku es una consecuencia inmediata del *teorema A*, se postula así:

2.1.1.2 Teorema B. Teorema de Tiwanaku

Este teorema propuesto por el Ing. Amaru (1996): “se halla implícito en el sistema matemático de la cruz cuadrada y formula la resolución del famoso teorema de Pitágoras” (p. 148). Recuérdese que el teorema de Pitágoras establece que la suma de los catetos a y b al cuadrado es igual a la hipotenusa c al cuadrado en todo triángulo rectángulo como se muestra en la (Fórmula 2):

Fórmula 2. Teorema de Pitágoras.

$$c^2 = a^2 + b^2$$

Fuente: Amaru (1996, p. 156).

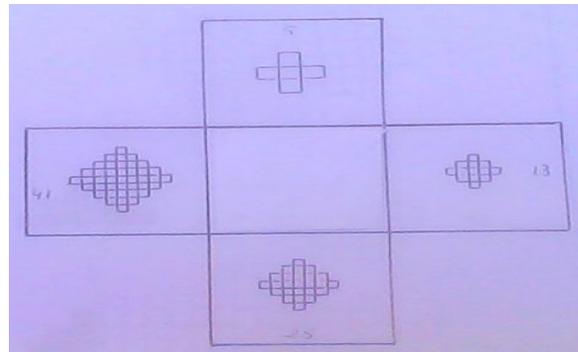
Finalmente, la tercera proyección experimental está relacionado con la búsqueda del número irracional Pi andino y utiliza la técnica de la cuadratura de la circunferencia que consiste en encontrar un cuadrado y una circunferencia cuyos perímetros sean iguales. Recuérdese que Pi es la relación de la longitud de la circunferencia de un círculo con la longitud de su diámetro. (Milla, 1995).

Estos dos teoremas, tanto el teorema A como el *teorema B*, conllevan a la obtención de un modelo representativo de la constelación de la Cruz del Sur como el símbolo de la chakana (véase Figura 1) un signo primario considerado por Schwartzberg (2004) como la síntesis geométrica andina. De aquí, Molina (1995) clasifica las cruces en dos grandes grupos: las cruces progresionales y las cruces dinámicas.

2.1.1.3 Cruces progresionales y cruces dinámicas

Las cruces progresionales u originales, son aquellas cruces enteras que se encuentran en una progresión aritmética (o llamada también progresión de Wiracocha) y está en función de la suma de sus cuadrados que la compone (Figura 4):

Figura 4. Cruces progresionales de la Cruz del Sur.

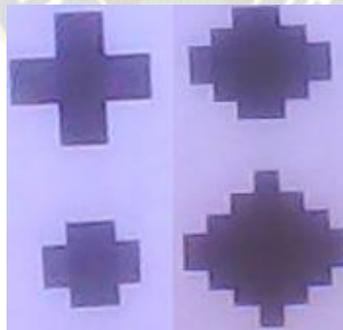


Fuente: Molina (1995, p. 138).

Como se observa en esta (Figura 4), la primera progresión de la parte superior, la cruz andina tiene 5 cuadrados; la segunda progresión de la derecha tiene 13 cuadrados; luego, la tercera progresión de la parte inferior, 25 cuadrados y la cuarta progresión de la parte izquierda compone 41 cuadrados.

En cambio, las cruces dinámicas o derivadas, son aquellas que provienen elásticamente de las cruces originales y de sus diferentes y repetidos desdoblamientos (Figura 5):

Figura 5. Cruces dinámicas

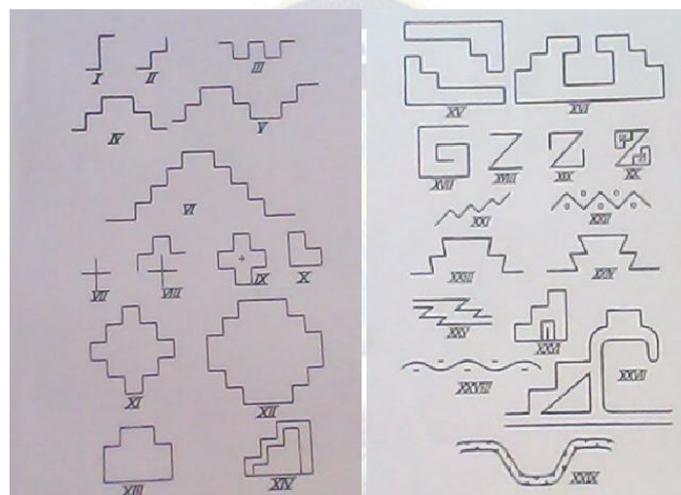


Fuente: Molina (1995, p. 139).

En esta (Figura 5) en la parte superior izquierda se tiene una cruz de 5 cuadrados, la siguiente derivación corresponde a una cruz de 12 cuadrados (parte inferior izquierda superior). Luego, una tercera derivación de 24 cuadrados (parte superior derecha) y finalmente una cuarta derivación de 32 unidades o cuadrados (parte inferior derecha).

Otro reconocido investigador de los restos de la cultura tiwanacota fue Posnansky (1913) quien clasifica los signos en función del signo escalonado arguyendo que todo el simbolismo de la arqueología tiwanacota puede ser descrito en base a este signo escalonado (Figura 6):

Figura 6. Diversas formas del signo escalonado.



Fuente: Posnansky (1913, p. 39).

2.1.2 La geometría de la microcosmovisión

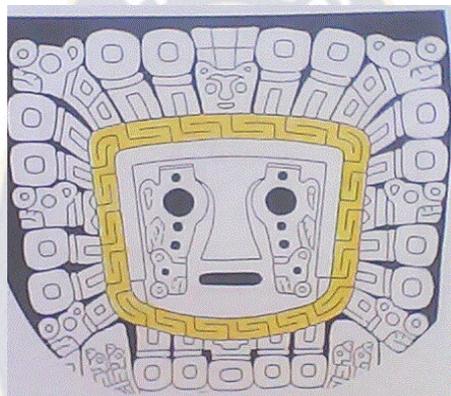
No sólo los diseños arqueológicos tiwanacotas están relacionados con el macrocosmos explicado anteriormente, sino trasciende más allá, como una especie de proyección pero a nivel molecular. El investigador Molina (1995) indica: “El lenguaje lógico tiwanacota o tetralenguaje (cuarteto de ideas) está constituido dualmente como el lenguaje de la materia viva o código genético por una parte primaria cual el ADN (ácido desoxorribonucleico) y por otra parte secundaria semejante al ARN (ácido ribonucleico). Los tiwanacotas poseían un alto concepto energético de la materia viva” (p. 120).

Esta afirmación se refuerza con Kusch (citado por Vilca, 2008), quien asevera que como heredad del pensamiento aymara es un pensamiento seminal y una lógica bio-lógica. Esta geometría de la microcosmovisión tiene estrecha relación con la aureola⁷ de la Figura

⁷ Aureola, disco que circunda el rostro de una imagen.

central de la portada del Sol. Los signos en forma de gancho inscritos en la aureola se consideran como cromosomas (Molina, 1995). Se entiende por cromosoma a la agrupación de genes con una determinada estructura, cada gen (microfibrilla presente en las células de los seres vivos) contiene un código genético destinado a la preservación de la especie en las siguientes generaciones. Asimismo, este estudio llevó a la formulación del tercer teorema andino llamado teorema de la Aureola (Amaru, 1996) que se sustenta en la Figura central de la Puerta del Sol (Figura 7):

Figura 7. La aureola de la portada del Sol.



Fuente: Amaru (1996, p. 157).

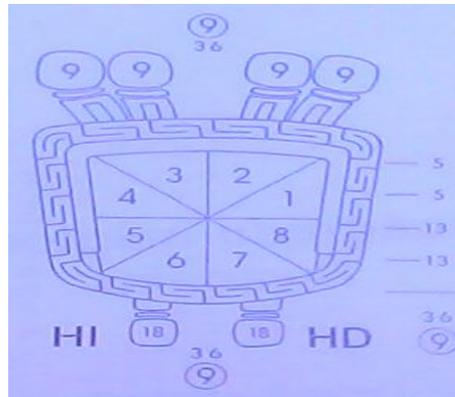
2.1.2.1 Teorema C. Teorema de la Aureola

El teorema de la aureola describe un proceso **desde la unificación a la perfección**:

Encontrar la figura geométrica de unificación, con una constante de valor 36 y que al ser dividida en dos partes iguales, cada una deberá tener valor 18. Asimismo, partiendo de la Cruz del Sur y su diagonal, desde el centro a la periferia deberán repetirse las figuras geométricas originales, cuyos elementos sumados entre sí, den como resultado de nuevo el valor total. Una vez encontrada la figura geométrica de unificación, el valor de su área deberá multiplicarse por el valor de elementos encontrados, para de esa manera llegar a la perfección. (Amaru, 1996, p. 150).

La demostración del teorema de la aureola deriva en la construcción del cuadrado mágico descubierto por Amaru (1996). El cuadrado mágico (véase Figura 8) es la matriz numeral de la cultura tiwanacota ya que contiene en su interior todos los símbolos numéricos antiguos. Se expone a continuación:

Figura 8. Cuadrado mágico de Tiwanaku.



Fuente: Amaru (1996, p. 144).

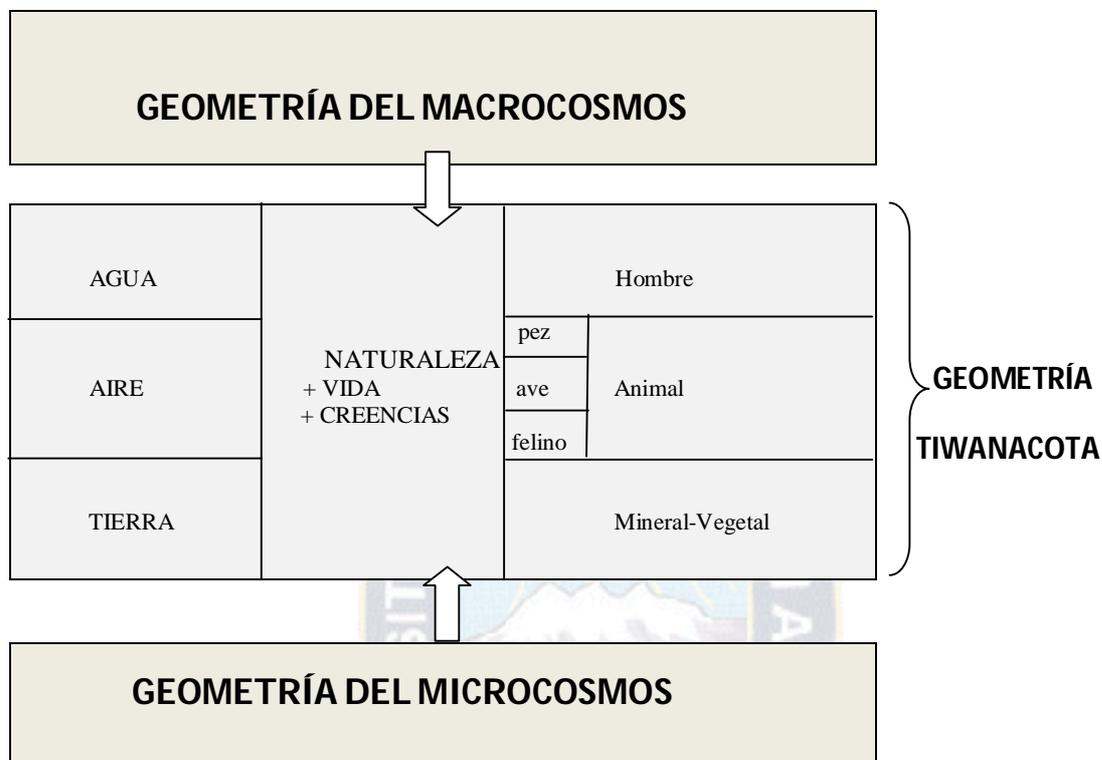
2.1.3 La geometría de la naturaleza

Las geometrías de la cosmovisión y de la microcosmovisión se complementan con la geometría de la naturaleza que se refiere a la observación directa de los fenómenos naturales y de los seres vivos, sumado a ellos el cultivo del desarrollo histórico socio-cultural (creencias) a través de los diferentes períodos tiwanacotas. Esta situación se resume en el diagrama de la (Figura 9). Nótese los tres elementos básicos: la tierra, el aire y el agua en su iconografía manifiestan el felino, el ave y el pez, respectivamente. El hombre es una composición al unísono de estos tres elementos básicos. Posnansky (1913) refuerza este criterio en alusión a los signos Zeta (otro signo primario) y su relación con la naturaleza:

Hay además muchas variantes de estos signos, en los cuales expresa su idea realmente y en combinación con signos antropomorfos y zoomorfos. Los distintos signos “Tierra” tienen también sus diferentes significados topográficos, orográficos y geográficos, como por ejemplo, planicies, montañas, terrenos ondulados, serranías, cordilleras, andenes (pata-pata en aymará), interior de la tierra (sotatierra), tierra debajo del agua y en medio del agua, islas, tierra alumbrada por el sol ó la luna, la misma en la oscuridad, etc., etc. Todas estas modulaciones quedan diferenciadas no solamente por las distintas formas de los ideogramas⁸, sino también por el olor con que están pintadas. (p. 6).

⁸ Ideograma, imagen convencional o símbolo que representa un ser o una idea, pero no palabras o frases fijas que los signifiquen.

Figura 9. Diagrama de la geometría tiwanacota.



Fuente: (Elaboración propia).

Dado que las cruces se clasifican en progresionales y dinámicas, las cuales denotan un carácter evolutivo, entonces corresponde su estudio a los sistemas dinámicos que se describe a continuación:

2.2 Sistemas dinámicos

Un sistema (del gr. *syn*, “con” e *istêmi*, “coloco”) etimológicamente significa “colocar algo con algo”. La Real Academia de la Lengua conceptualiza este término como “*un conjunto de cosas que ordenadamente relacionadas entre sí contribuyen a un determinado objetivo*”.

En la teoría general de sistemas, una clasificación de los sistemas, dependiendo de la variabilidad de sus atributos, es sistemas dinámicos y estáticos. Se llama sistema dinámico “*si las ecuaciones de entrada salida están dadas ya sea en forma de ecuaciones diferenciales (caso de tiempo continuo) o como ecuaciones de diferencias (caso de tiempo discreto)*” (Mahalanabis, 1987, p. 14). En cambio, se denomina sistema estático cuando las relaciones entre sus componentes están expresados por ecuaciones algebraicas (Mahalanabis, 1987).

Ahora, según el tipo de señal o variable y el tipo de coeficiente dados en su ecuación, los sistemas dinámicos son: determinísticos, probabilísticos y complejos.

2.2.1 Sistemas determinísticos

“Por determinístico se entiende que el sistema (*i.e.* el sistema físico y su modelo matemático) no tiene como entradas señales aleatorias o ruido, esto es, que el comportamiento irregular del sistema ocurre debido a sus propias características no-lineales” (Aboites, 2009, p. 55). Los sistemas determinísticos son sistemas dinámicos si las señales y los coeficientes de las ecuaciones del modelo están explícitamente pre-establecidos, es decir, pueden ser estimados y calculados. Estos sistemas se suelen llamar también sistemas predictivos. Como ejemplo se cita al modelo de la sucesión de Fibonacci, donde el n -ésimo término puede ser calculado.

Un tipo particular de sistema determinístico son los “sistemas caóticos”, aquellos sistemas que a pequeñas variaciones de las variables o señales de su ecuación presentan un alto grado de incertidumbre en la respuesta (como la estabilidad, la inestabilidad o ambos) pero como contrapartida, cuando el número de observaciones es grande, aparece un modelo de regularidad y uniformidad con cada uno de sus componentes el mismo que puede ser formalizado mediante métodos y análisis. Cubero & Romero (2003) aclaran el concepto de los sistemas caóticos:

Analizar lo caótico, es decir, el comportamiento impredecible del sistema pero que responde, no obstante, a un orden subyacente. No debe olvidarse que caos no es desorden, sino aparente desorden manifiesto que, sin embargo, responde a un orden latente. Los

sistemas caóticos implican una dependencia sensible a las condiciones iniciales⁹ y son aperiódicos, por lo que resulta difícil predecir su trayectoria o evolución. Descubrir el comportamiento caótico del sistema o ese orden subyacente es el objetivo de la Teoría del Caos. Descubrir los atractores o focos activos de los sistemas, sean físicos o sociales, las fluctuaciones, la fractalidad, la coevolución de distintos sistemas, etc. son entre otros, dimensiones de la realidad que es posible conocer mediante esta teoría y este nuevo Paradigma Científico. (p. 134).

2.2.2 Sistemas probabilísticos

Son sistemas dinámicos si las señales son estocásticas y si los coeficientes del modelo son o no variables aleatorias o procesos estocásticos (Mahalanabis, 1987). Para el investigador Arias (1976) los sistemas probabilísticos son aquellos en cuyo funcionamiento existe un alto grado de incertidumbre y toma como ejemplo la amiba que puede tomar diferentes derroteros en una gota de agua no pudiendo anticiparse cuál de ellos va a seguir. Otro ejemplo de este tipo de sistemas son los modelos de algoritmos genéticos.

2.2.3 Sistemas complejos

Son sistemas dinámicos que parten del enfoque sintético o estructuralista, es decir, estudian la manera de cómo se constituye los componentes individuales de un sistema sobre cuyas interacciones se generan nuevas propiedades; algunas de estas propiedades son la propiedad emergente y la capacidad de auto-organización (Caballero, 2008).

Nota 1. Los sistemas complejos constituyen una temática de estudio de la vida artificial, un área de la inteligencia artificial, vinculado a los sistemas biológicos.

Nota 2. “El tamaño o la complejidad del sistema, no implican, necesariamente, determinismo o probabilidad” (Arias, 1976, p. 14).

Como ejemplos de modelos de sistemas complejos tenemos a los modelos de autómatas celulares (AA.CC, en adelante) y a los modelos fractales.

⁹ Esta ley de dependencia sensible a las condiciones iniciales recibe a menudo el calificativo de «efecto mariposa» (el impacto de los microcambios en el comportamiento del sistema, volviéndolo impredecible). El comportamiento caótico de un sistema se visualiza cuando ante dos condiciones iniciales similares, un sistema evoluciona de manera radical o parcialmente diferente a como lo hacen otros sistemas que parten de las mismas condiciones. Como puede observarse, el fenómeno del aprendizaje puede, de este modo, categorizarse como fenómeno caótico.

Nota 3. Por su similitud con el modelo del juego de la vida, los modelos fractales sólo se referencian en el (Anexo D, Fractales).

2.2.3.1 Los autómatas celulares

El término autómatas celulares fue introducido por los matemáticos John Von Neuman & Stanislaw Ulam en 1948 al presentar un trabajo sobre máquinas que se autorreplican. Los AA.CC. son modelos de sistemas complejos que los investigadores De la Cuadra & Hernández (2001) la conceptualizan como una máquina de estados finitos que consiste en un arreglo¹⁰ de unidades o células en la cual la evolución o cambio de estado de cada una de las células depende de su estado actual y de los vecinos cercanos.

En la temática de los AA.CC. se estudian tres tópicos que se describen a continuación:

- a) La *dimensión del arreglo* que puede ser unidimensional, bidimensional o multidimensional.
- b) El *patrón inicial*. Un patrón es una configuración y medidas particulares de representar un objeto. El patrón inicial en los AA.CC. es una agrupación de células que dará apertura a las sucesivas iteraciones, conocidas como generaciones de células según una determinada regla prescrita o algoritmo. Para el filósofo argentino Bunge (1960) esta regla prescrita son “leyes de combinación de los signos que intervienen en la producción de expresiones complejas” (p. 22).
- c) La *geometría reticular* concepto atribuido al investigador Jara (2009):
Es la geometría que estudia las figuras reticulares, entendiendo esta última como aquella que está compuesta por cuadrados unitarios de forma que tiene un único cuadrado o bien para cada uno de los cuadrados existe otro con el que comparte un lado (lados contiguos) y de cada retículo se puede llegar a cualquier otro mediante un camino que sólo atraviesa lados contiguos.

¹⁰ Arreglo, en la computación, es un tipo de estructura de datos en forma de tablas de una dimensión (vector), de dos dimensiones (matriz) o más dimensiones (poliedros) que se referencian por un nombre, un índice y el tipo de datos que almacena.

2.2.3.1.1 El algoritmo del juego de la vida

Uno de los modelos de AA.CC. más conocidos en el mundo de la computación es el modelo del juego de la vida (*Game of life* en inglés) diseñado por el matemático John Conway en octubre de 1970 y publicado en la revista científica *Scientific American* en la columna de juegos matemáticos. Este modelo consiste en un arreglo de dimensión dos (también puede ser tres o incluso mayor) y un conjunto de células que pueden estar en estado encendido o en estado apagado, las cuales están sujetas a una determinada regla de formación. Cada célula opera en la llamada “vecindad de Von Neumann” consistente en un grupo de células adyacentes que interactúa con dicha célula. Básicamente, la regla de formación se basa en tres procesos: nacimiento de una célula, su sobrevivencia y su muerte los cuales se describen en el siguiente (Algoritmo 1):

Algoritmo 1. Modelo del juego de la vida.

- 1) INICIO
- 2) Sean las variables:
 - M** una matriz que contiene células que forman una vecindad
 - U** una célula puede tomar dos estados posibles:
estado activo (ON) y estado inactivo (OFF).
 - N** el número de células en estado activo que rodean a la célula.
- 3) Si **U = OFF** y **N = 3** entonces // condición de nacimiento
- 4) **U ← ON**
- 5) en otro caso
- 6) Si **U = ON** y (**N = 2** ó **N = 3**) entonces
- 7) **U ← ON** // condición de sobrevivencia
- 8) en otro caso // condición de muerte
- 9) **U ← OFF**
- 10) FinSi
- 11) FinSi
- 12) FIN

Fuente: (Elaboración propia).

Como se observa en el (Algoritmo 1): El paso **1)** INICIO comienza con la secuencia lógica. En el paso **2)** se declara la variable M , una matriz o arreglo bidimensional cuyo tipo de datos son células o unidades declaradas como variable U , la misma que puede adoptar dos estados posibles: un estado activo ON y otro estado inactivo OFF. También se declara la variable N que representa el número de células que están en la vecindad de Von Neumann. El paso **3)** indica la condición para el proceso de nacimiento de una nueva célula, el cual se produce cuando U está en estado OFF y el número de células activas es exactamente tres. Luego, al cumplirse la anterior condición en el paso **4)** U pasa al estado activo ON. **5)** Cuando la situación no se cumple **6)** indica otra condición para el proceso de sobrevivencia que se produce si y sólo si cuando U está activo y el número de células N es 2 o bien, N es 3 entonces **7)** U mantiene su estado activo ON. Finalmente, **8)** cuando las dos anteriores no se verifican el paso **9)** indica que la célula U en estado activo ON pasa al estado inactivo OFF. Es el proceso de muerte de la célula U provocado ya sea por sobrepoblación ($N > 3$) o por escasez de población ($N < 2$). Los pasos **10)** y **11)** marcan el final de las condicionantes. El algoritmo concluye con el paso **12)** FIN.

2.2.3.1.2 Tipos de patrones

Los diferentes tipos de patrones del modelo del juego de la vida se muestran en el (Cuadro 2).

Cuadro 2. Tipos de patrones en el modelo del juego de la vida.

Tipo de patrón	Descripción	Ejemplo
1. Fijo o estático.	Son patrones que no varían.	Patrón bloque, patrón barco.
2. Recurrentes ("osciladores").	Varían una posición a otra Indefinidamente.	Parpadeador, sapo.
3. De movilidad ("planeadores").	Se reproducen o mueven.	Nave ligera y gliders (estructuras que caminan con desplazamiento diagonal).
4. Matusalenes.	Tardan muchos pasos en estabilizarse.	Diehard (tarda 130 mil pasos y desaparece), Acorno (tarda 5206 mil pasos).

Cuadro 2. Tipos de patrones en el modelo del juego de la vida (continuación).

Tipo de patrón	Descripción	Ejemplo
5. De explosión ("exploders").	Células que parecen formar la onda expansiva de una explosión.	Bombas ("pumps").
6. Pistolas ("guns").	Crece indefinidamente y en su evolución genera planeadores u otras naves espaciales	Locomotoras ("puffers"), se mueven y dejan un rastro de basura. Rastrillos ("rakes") se mueven y emiten naves espaciales Criaderos ("breeders") dejan atrás un rastro de pistola.

Fuente: De la Cuadra & Fernández (2001).

El tipo de patrón **1)** fijo o estático, expresa el proceso de sobrevivencia a través de las sucesivas generaciones porque permanece inmutable. Como ejemplo se menciona el patrón bloque compuesto de cuatro células y el patrón barco. **2)** Los patrones recurrentes o llamados también osciladores en algún instante del tiempo se invocan a sí mismo. Si se invocan después de dos generaciones, son patrones de período dos, si lo hacen de tres generaciones, son patrones de período tres y así sucesivamente. Luego están **3)** Los patrones de movilidad o planeadores con capacidad de desplazamiento diagonal y de reproducción como las naves ligeras y los gliders. **4)** Los matusalenes que cumplen un número grande de generaciones para entrar en equilibrio, se mencionan a los Diehard y Acorno. Otro tipo de patrón son **5)** los exploders (o explotadores) que simulan un estallido en un área determinada, están los patrones bomba y finalmente **6)** las pistolas o guns en cuyo crecimiento interminable invocan a los planeadores y a los patrones naves espaciales. Como ejemplo se tienen a las locomotoras, a los rastrillos y a los criaderos.

El propósito de este trabajo consiste en relacionar el comportamiento de estos patrones con los diseños arqueológicos. Para ello primeramente se estudia los signos primarios que son configuraciones básicas como el signo escalonado o el signo gancho y observar su dinámica y sus efectos aplicando el modelo del juego de la vida. Luego, los signos primarios se clasifican como un determinado tipo de patrón basándose en este (Cuadro 2), o bien se introduce uno nuevo.

CAPÍTULO 3

MARCO APLICATIVO

En este capítulo tres se demuestra la hipótesis formulada mediante la aplicación del autómata celular el juego de la vida. Los signos primarios inscritos en los diseños arqueológicos tiwanacotas se analizan en tiempo de procesamiento y a la vez se procede a su catalogación como patrones de recurrencia. Luego, tanto los signos primarios y los patrones de recurrencia se utilizan en la construcción de objetos virtuales.

3.1 Aplicación del modelo del juego de la vida

Según la teoría descrita, un modelo de autómata celular corresponde al estudio de los sistemas complejos donde a partir de la interacción de unidades individuales se forman estructuras con capacidad emergente y auto-organización. Estas unidades individuales se llaman “células” que pueden estar en estado activo como también en estado inactivo (véase Algoritmo 1). Además, la forma que adoptan al agruparlas en una vecindad, en este estudio, recibe el nombre de Signo Primario (*SP*) y se relaciona con el simbolismo e iconografía de la cultura tiwanacota. Se estudian treinta signos primarios que se identifican como *SP 0*, *SP 1*,..., *SP 29* definidos en un arreglo bidimensional (matriz). Como los signos primarios obedecen a una determinada ley de formación que precisamente es el juego de la vida, se analizan consecutivamente en generaciones cuya notación es *Gen 0*, *Gen 1*,..., *Gen N*, donde la variable *N* es un número entero.

La técnica que se emplea en este estudio es la observación, además del método analítico por inducción y la analogía que consiste en relacionar analíticamente la gran similitud que existe entre las configuraciones generadas por el algoritmo del juego de la vida con los diseños arqueológicos tiwanacotas en tiempo de procesamiento. En otras palabras se procura una reconstrucción parcial o total de los mencionados diseños. Como resultado se tiene una colección de patrones de recurrencia sistemáticamente relacionadas que evidencian la hipótesis formulada.

El programa del juego de la vida de carácter gratuito (freeware) empleado como herramienta de análisis se descarga de la dirección web:

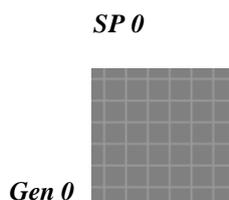
<http://www.bitstorm.org/gameoflife/standalone/GameOfLife-1.5-installer.exe>

y corresponde al programador Edwin Martín.

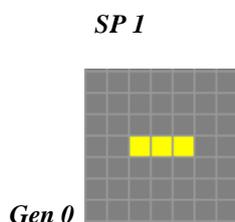
La aplicación del (Algoritmo 1) se divide en tres partes: una introducción a los signos primarios, el análisis del signo escalonado y el análisis de la extensión de la unidad.

3.1.1 Introducción a los signos primarios

A continuación se analizan los signos primarios indicando que la notación ($SP\ i, Gen\ j$) significa el i -ésimo Signo Primario (objeto de estudio) en la j -ésima Generación.

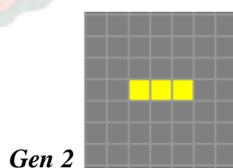
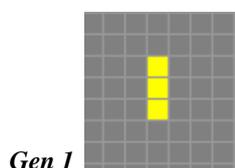


Agrupación de células en estado inactivo que como se observa forma una vecindad de espacio sin límites, un vacío. Para el filósofo griego el espacio es “Inmutable, eterno y estático”.



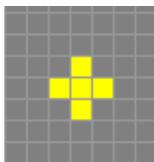
Cuando se agrupan tres células en estado activo en forma de una población lineal como muestra la figura ($SP\ 1, Gen\ 0$) entonces surge la unidad. Nótese el número primo tres.

Nota 4. Una célula en estado activo ON, solamente se referencia como “célula”, esto por omisión o por defecto.

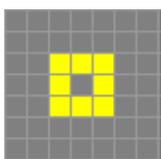


Ir al ($SP\ 1, Gen\ 0$).

Es la unidad periódica porque forma un período dos y expresa su sobrevivencia a través de las sucesivas generaciones. En la terminología de AA.CC. es el tipo de patrón recurrente conocido como “*parpadeador*” u “*oscilador*” (véase Cuadro 2).

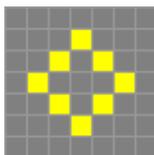
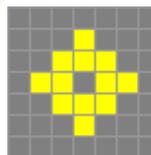
SP 2**Gen 0**

En algún instante del tiempo, espacio y materia las dos formas de la unidad del *SP 1* tienden a entrecruzar sus destinos, una composición en forma de cruz. Es el símbolo de la chakana o cruz andina, el modelo idealizado de la constelación de la Cruz del Sur (véase Figura 1).

**Gen 1****Fotografía 1. Monolito Ponce.**

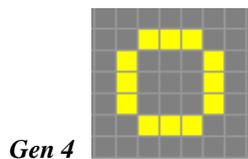
El cuadrado es una especie de circunferencia “estilizada”¹¹ que, como se observa en la parte inferior del monolito Ponce representa una forma de disco solar. Según el Teorema C, teorema de la aureola propuesto por Amaru (1996) hay una relación perfecta y unificada entre las figuras geométricas como el cuadrado y la circunferencia partiendo de la constante de valor 36 (en la aureola de la Figura central hay 36 ganchos). Este motivo aparece en varios diseños arqueológicos como en la aureola de la portada del Sol (véase Anexo F y Anexo G).

El monolito Ponce fue descubierto en 1957 en la parte interior del templo de Kalasasaya y que simboliza a una autoridad tiwanacota, está tallada en andesita y mide tres metros de altura. Se aprecian finos grabados iconográficos como cabezas de puma, de cóndores y de símbolos escalonados, el más puro arte tiwanacota (Posnansky, 1958).

**Gen 2****Gen 3**

En este estudio se clasifica a las cruces progresionales que están en la progresión de Wiracocha (véase Figura 4) en función del número de sus escalones como se muestran en las figuras de las generaciones **Gen 2** y **Gen 3**, una chakana de tres escalones. Según el Prof. Rodríguez (2001) marca el ritmo de la historia del tiempo de la humanidad.

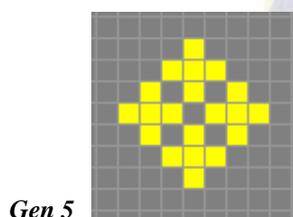
¹¹ Estilización, procedimiento que consiste en representar la realidad de forma simplificada reduciendo a lo esencial sus características.



Fotografía 2. Estructura en palacio de Putuni.



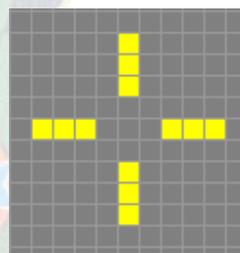
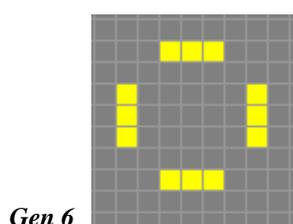
Figura con perímetro idéntico a las estructuras del palacio de Putuni, edificación que se encuentra al este del templo de Kalasasaya. Se lo conoce también como el “palacio de los sarcófagos” o “Putuputuni” que significa donde hay huecos. En Putuni se observan bloques con bajorrelieves y altorrelieves que fueron la forma de trabar los bloques para evitar su deslizamiento. A lo largo del desarrollo del trabajo se lo denomina “signo Putuni”.



Fotografía 3. Patio de Kherikala.

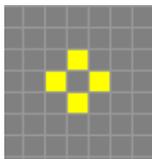
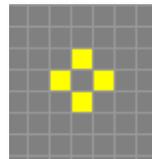


Es una configuración cuyo contorno delinea exactamente el bloque de la (Fotografía 3), una chakana de cuatro escalones que pertenece también a una cruz progresional. Representa a otra edificación, el patio de Kherikala que significa “piedras que arden”, porque en este sector se encuentran piedras que se estima fueron faroles. Nótese la recurrencia del signo de la cruz andina.



Ir al (SP 2, Gen 6).

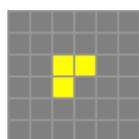
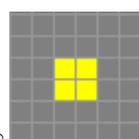
Es otro patrón *oscilador* de período dos. Estas dos generaciones describen la frecuencia interminable de la unidad periódica descrita en el SP 1. La unidad periódica genera variantes de la cruz cuadrada y de la cruz andina.

SP 3**Gen 0****Gen 1-∞**

Nota 5. La notación **Gen 1-∞** significa desde la Generación 1 hasta la Generación infinita. En los AA.CC. corresponde a un *patrón fijo*.

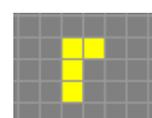
Variante de la chakana. Matemáticamente es una función identidad, de aquí, tiene las propiedades de reflexividad, simétrica y transitividad. Es reflexiva pues el par (**SP 3, Gen 0**) en la siguiente generación es también (**SP 3, Gen 0**). Es simétrica porque en términos de matrices: Un matriz **A** de $n*m$ elementos es simétrica si es una matriz cuadrada (aquella donde el número de filas es igual al número de columnas, o sea, $n = m$), y $a_{ij} = a_{ji}$ para todo i, j con $i, j = 1, 2, \dots, n$. En otras palabras una matriz simétrica tiene la característica de ser igual a su matriz transpuesta (aquella que resulta de intercambiar las filas por las columnas). Y es transitiva porque:

Si (**SP 3, Gen 0**) implica (**SP 3, Gen 1**) y (**SP 3, Gen 1**) implica (**SP 3, Gen 2**) entonces (**SP 3, Gen 0**) implica (**SP 3, Gen 2**). Para fines de la investigación es una cruz eterna, una luz inextinguible que en el modelo del juego de la vida representa la sobrevivencia a través de las sucesivas generaciones **Gen 0, Gen 1, ..., Gen ∞**.

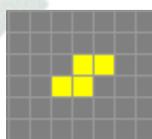
SP 4**Gen 0****Gen 1-∞**

El signo en forma de la tercera letra del alfabeto griego: gamma (véase Figura 6, X de Posnansky). En física, es una radiación electromagnética de altas energías asociada a la radiactividad (rayos gamma). Aquí es el signo gamma.

Es el *signo bloque* en la terminología de AA.CC. Tiene cuatro células y permanece eterno por todas las generaciones. Para fines del presente estudio, es un signo terminal y una función identidad.

SP 5**Gen 0**

Asimetría del signo gamma.

**Gen 1**

Forma elemental del signo gancho y que se describe en el **SP 7**.

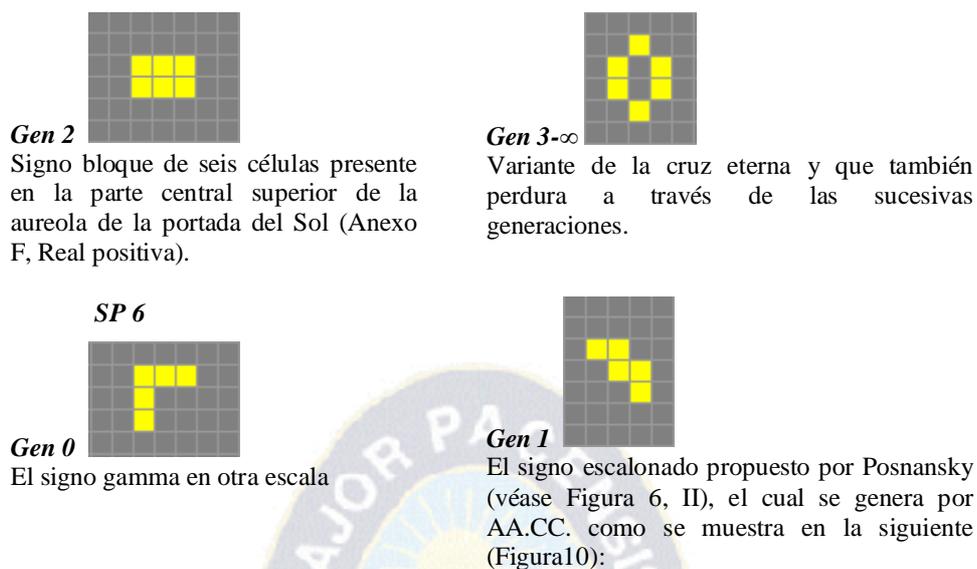
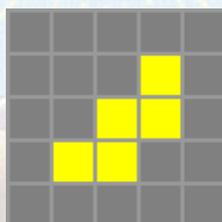


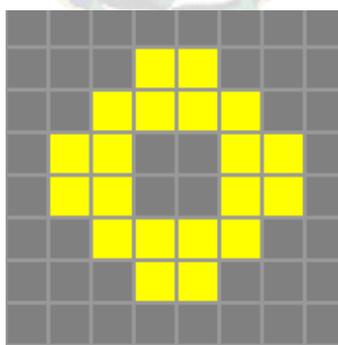
Figura 10. Signo escalonado de Posnansky.



Fuente: (Elaboración propia).

Los sucesivos desdoblamientos de esta (Figura 10) reproducen el símbolo de la cruz cuadrada como una matriz simétrica como se muestra a continuación (Figura 11):

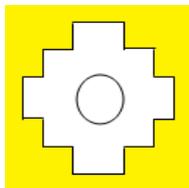
Figura 11. El símbolo de la cruz cuadrada.



Fuente: (Elaboración propia).

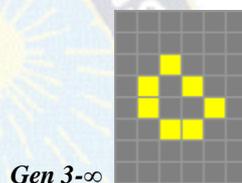
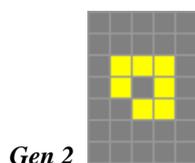
Según Milla (1995) este símbolo expresa la forma ritual de la cruz cuadrada que se conserva en las galerías de las vigas ornamentales del Templo de Chavín de Huántar en el departamento de Ancash-Perú y se considera uno de los símbolos más sagrados en la cultura andina (Figura 12):

Figura 12. Expresión ritual de la fórmula básica de la cruz cuadrada.

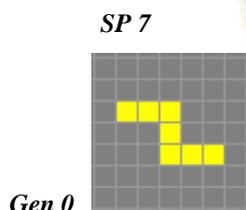


Fuente: Milla (1995, p. 284)

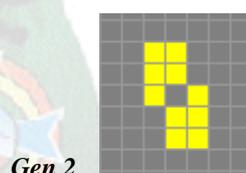
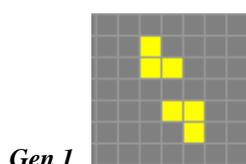
Es más, como se describe en el Capítulo dos, para Molina (1995) representa una cruz dinámica que resulta de la tercera derivación de la chakana (véase Figura 5).



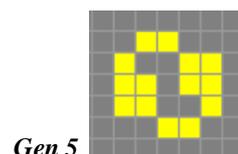
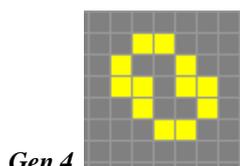
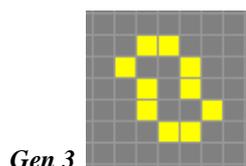
El signo gamma en contraste, expresa su sobrevivencia.



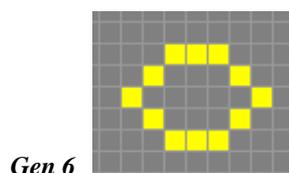
El signo gancho, presente en la aureola de la Figura central de la Puerta del Sol. Para Molina (1995) es un símbolo que porta un código genético que se encarga de preservar la especie en la siguiente generación.



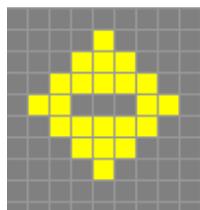
Reproducción del signo gamma. El signo gamma también es un patrón recurrente.



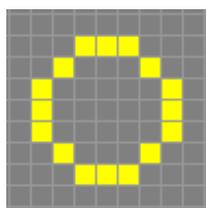
En estas generaciones se observa tres formas del signo gancho circunscrito en negativo.

**Gen 6**

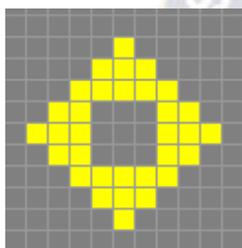
La vista dual del signo escalonado conectado por dos unidades periódicas de izquierda a derecha. Este signo se estudia en el *SP 10*.

**Gen 7**

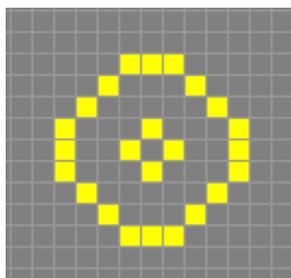
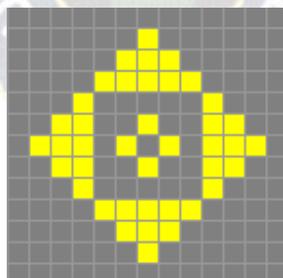
Cruz progresional de cuatro escalones y contiene 22 células o unidades (véase Figura 4).

**Gen 8**

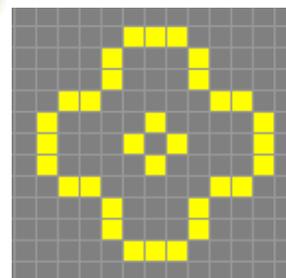
Generación que demuestra la evolución del signo Putuni. Tiene una estructura de intersección de cuatro signos escalonados con orientación hacia los cuatro puntos cardinales. Véase el *SP 11*.

**Gen 9**

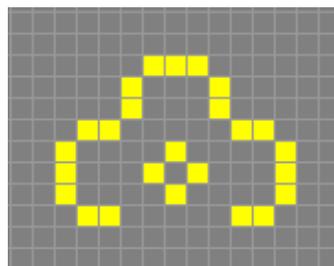
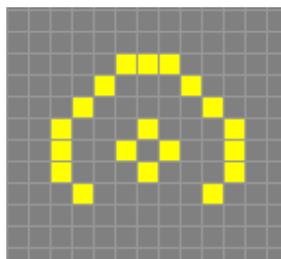
Cruz progresional de cinco escalones con 32 células (véase Figura 4).

**Gen 10****Gen 11**

Cruz progresional de seis escalones.

**Gen 12**

La parte media superior de la *Gen 10* y también de la *Gen 12* configuran las siguientes estructuras:

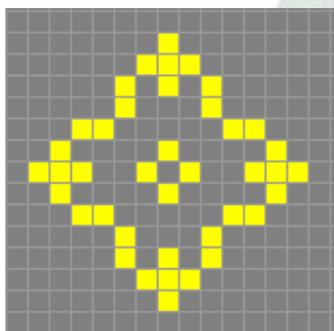


Representarían los “planos celulares” de la Pirámide de Akapana de la Fotografía 4:

Fotografía 4. Reconstrucción ideal de la Pirámide de Akapana.



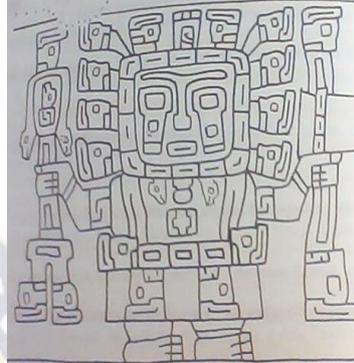
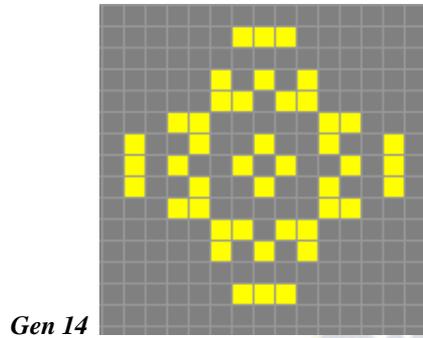
La Pirámide de Akapana en un plano de tres escalones. Es el modelo idealizado tridimensional propuesto por el arquitecto boliviano Javier Escalante (1997). Se dice que se orienta hacia los cuatro puntos cardinales. Nótese la supervivencia de la cruz eterna en el centro. En la cima de la pirámide de Akapana, según las crónicas existía un templete semisubterráneo que habría tenido una planta cruciforme escalonada. Akapana deriva, según Posnansky, del vocablo aymara “*aka kjahuana*” que significa “lugar de donde se atisba u observa”. Por lo que se presume que fue una edificación dedicada a marcar diversos eventos de carácter astronómico para distinguir las estaciones del año.



Gen 13

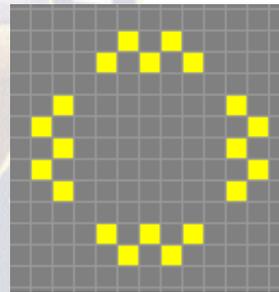
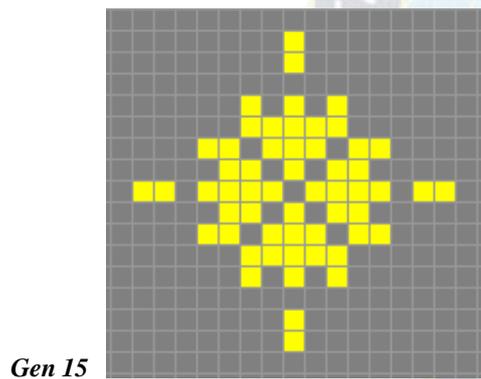
En esta generación se observa el signo de la cruz andina como un patrón recurrente y también la cruz eterna en el centro.

Figura 13. Dios Wiracocha.

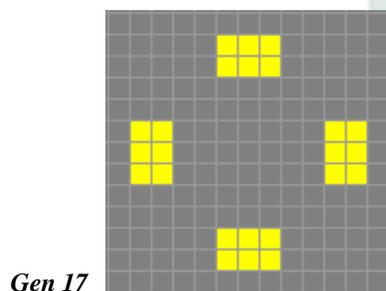


Fuente: Ponce (1969, Lámina 2).

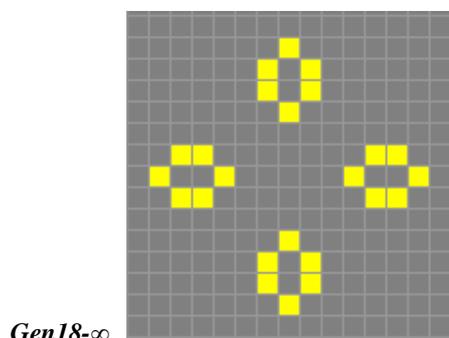
Modelo idealizado del dios Wiracocha en un autómeta celular. Wiracocha se considera el dios de la creación entre la cultura tiwanacota. Nótese la cruz eterna en el centro.



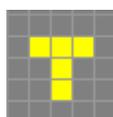
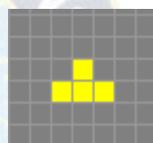
Reproducción del signo escalonado propuesto por Posnansky (Figura 6, III).



Réplica del *signo bloque* de seis células. También es un patrón recurrente.

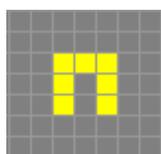
*Gen18-∞*

Variante de la cruz eterna que sobrevive a través de los tiempos, constituye dos signos escalonados yuxtapuestos arriba abajo, o bien, izquierda derecha.

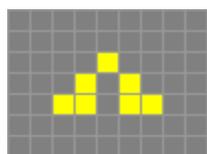
SP 8*Gen 0**Gen 1*

Ir al *SP 10*.

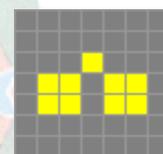
Signo en forma de la cruz Tau que corresponde a la decimonovena letra del alfabeto griego. Se transforma en la siguiente generación en una cruz Tau corta. En muchas culturas, este símbolo es sagrado y arcano. Descríbese en el *SP 10* como un signo escalonado.

SP 9*Gen 0*

Un signo en forma de arco llamado 'luchu' por Molina (1995). Se ubica en la cabeza de la Figura central y se circunscribe por 18 signos gancho e irradia toda la información al resto de la Figura (véase Anexo F, Real positiva.).

*Gen 1*

Dos signos gamma conectados por una célula que configuran un signo escalonado de tres escalones.

*Gen 2*

Ir al (*SP 16, Gen 1*) donde se estudia los signos escalonados.

3.1.2 Análisis del signo escalonado

A continuación se procede al análisis de algunos signos escalonados propuesto por Posnansky (1913) quien afirma que prácticamente toda la arqueología tiwanacota puede ser descrito mediante este signo. En las anteriores generaciones ya se observaron algunos de ellos de carácter recurrente:



El signo escalonado de dos escalones en su forma más elemental o canónica. Considérese la mitad del signo de la cruz eterna. Llega a extinguirse por falta de población.



Signo escalonado o la cruz tau pero en forma invertida

En una aritmética de signos primarios representa la unión del signo de la cruz tau con la unidad periódica.

Esta generación representa el símbolo de la parte central del pedestal de la Figura central, como se observa en la (Figura 14):

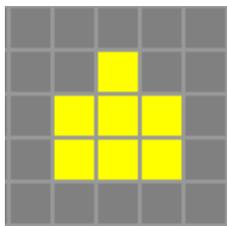
Figura 14. Pedestal de la Figura central.



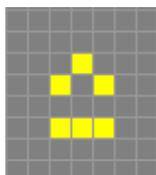
Fuente: Molina (1995, p. 359).

Además, es otro de los signos primarios que propone Posnansky (véase Figura 6, XIII) y tiene la forma de un cántaro (wakulla, en el idioma aymara) como muestra la (Figura 15):

Figura 15. El símbolo en forma de wakulla.

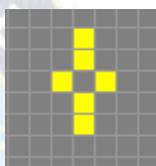


Fuente: (Elaboración propia).



Gen 2

Un signo escalonado y una unidad periódica.

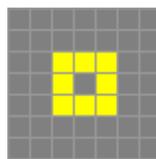


Gen 3

La composición de la unidad periódica y un signo primario escalonado de la anterior generación **Gen 2** puede formar una cruz larga (cruziforme larga). Es la introducción a la aritmética de signos primarios.

Las piezas que portan cruciformes largas se pueden ver en las ruinas de la pirámide de Pumapunku como muestra la (Fotografía 5):

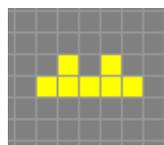
Fotografía 5. Ruinas en la pirámide de Pumapunku



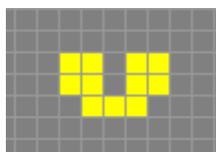
Gen 4

Ir al (**SP I**, **Gen I**).

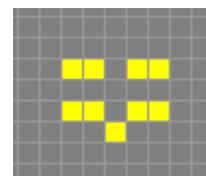
Es el (**SP I**, **Gen I**). De aquí se deduce lo siguiente: Los signos primarios **SP I** y **SP II**, la chakana y el signo de la cruz Tau corto respectivamente son equivalentes. Para fines del presente estudio: “*Dos signos primarios son equivalentes si generan los mismos patrones en algún instante de su procesamiento*”.

SP 12

Gen 0
Intersección de dos signos escalonados.

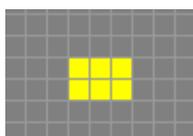


Gen 1
Unión de dos signos bloque y la unidad periódica.



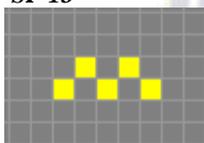
Gen 2

Gen 3

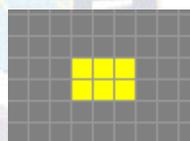


Ir a (**SP 5, Gen 2**).

Recurrencia del signo bloque de seis células y que corresponde al (**SP 5, Gen 2**). Por tanto, los signos primarios **SP 5** y **SP 12** son equivalentes.

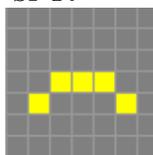
SP 13

Gen 0
Unión de dos signos escalonados.



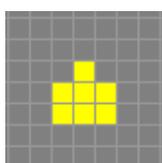
Gen 1

Ídem (**SP 12, Gen 3**). Así, los signos primarios **SP 5**, **SP 12** y **SP 13** son equivalentes.

SP 14

Gen 0

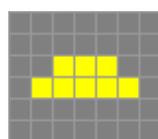
El signo escalonado extendido de dos escalones en un número primo de cinco células.



Gen 1

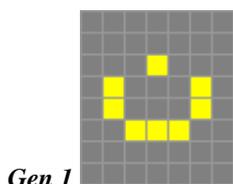
Ir al (**SP 11, Gen 1**).

Es la misma configuración del (**SP 11, Gen 1**) invertido y que por la propiedad de transitividad, transfiere al **SP 2**, la cruz andina. Así, los signos primarios **SP 2**, **SP 11** y **SP 14** son equivalentes.

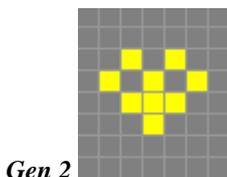
SP 15

Gen 0

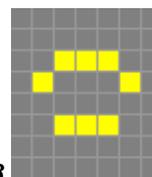
Variante del signo escalonado de dos escalones con la totalidad de células activa.



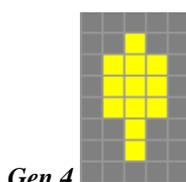
Gen 1
La mitad de la cruz cuadrada y una célula.



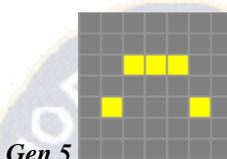
Gen 2
Intersección del SP 2 y del SP 13.



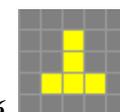
Gen 3
Composición del SP 14 y la unidad periódica.



Gen 4

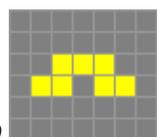


Gen 5
La unidad periódica y dos células.

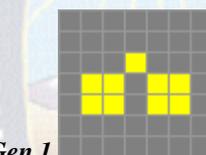


Gen 6
Ir al SP 8.
El signo Tau invertido.

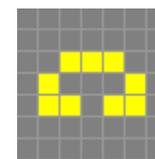
SP 16



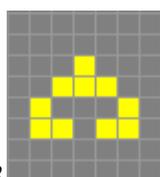
Gen 0
Variante del signo escalonado. Resultan dos signos gamma conectados por una célula



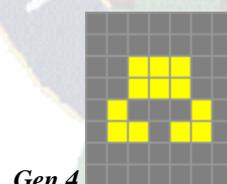
Gen 1
Dos signos bloque conectados por una célula.



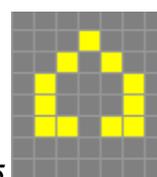
Gen 2
El signo pedestal en su forma más elemental. Nótese el signo Tau en contrarrelieve.



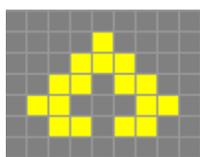
Gen 3
Un signo escalonado y dos signos gamma.



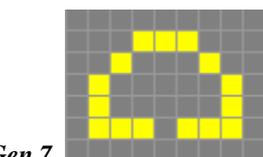
Gen 4
Un signo bloque de seis células y dos signos gamma.



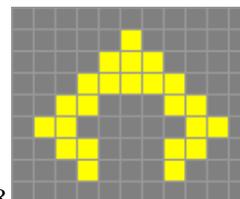
Gen 5
Recurrencia del signo escalonado (SP 10) y dos signos gamma asimétricos.



Gen 6
La chakana en contrarrelieve

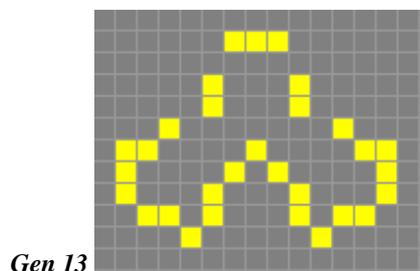


Gen 7
Recurrencia de los Patrones 6 y 14 (un signo escalonado y dos signos gamma).

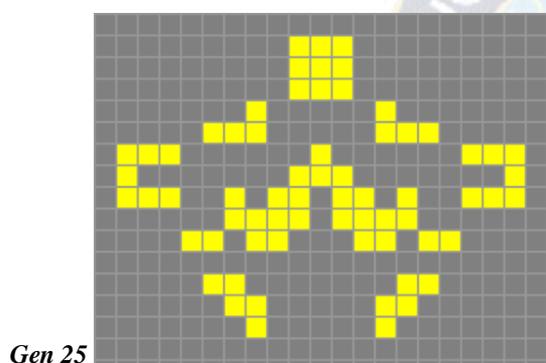


Gen 8
Cruciforme larga en contrarrelieve de la Fotografía 5.

Nota 6. A continuación se destacan las configuraciones más relevantes en el desarrollo de las sucesivas generaciones con sus respectivas descripciones.

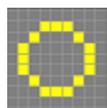


Forma aproximada del pedestal de la Figura central (Anexo F, Real positiva).



Nótese en la parte central, un signo pedestal que representa aproximadamente al pedestal del personaje principal de la Puerta del Sol.

El pedestal se compone utilizando las siguientes configuraciones generadas anteriormente:



(SP 7, Gen 8)



(SP 2, Gen 4)

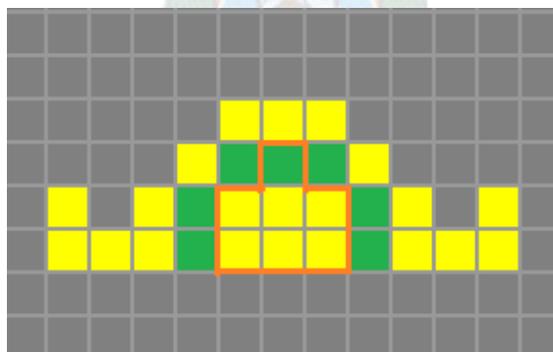


SP 4

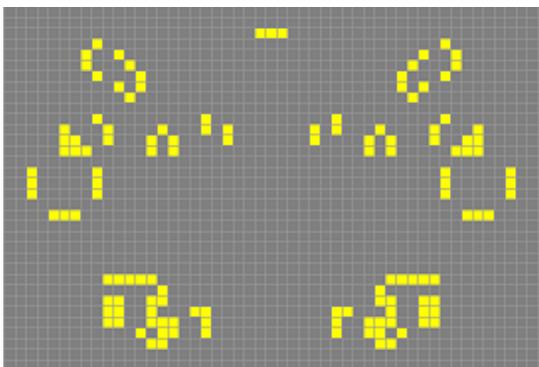


(SP 11, Gen 1)

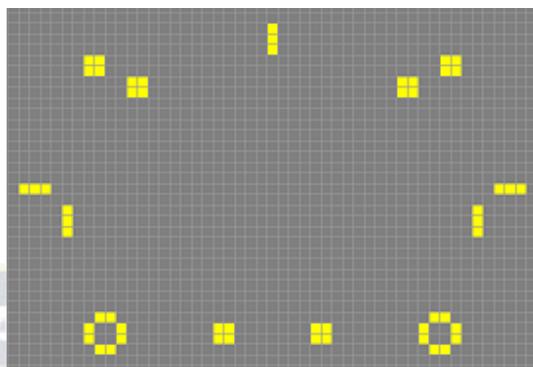
Figura 16. Pedestal compuesto de 28 células.



Fuente: (Elaboración propia).



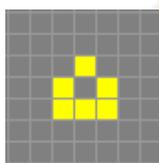
Gen 151



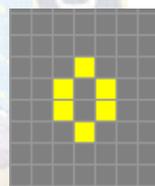
Gen 172-∞

Son los signos terminales y conjuntamente con la unidad periódica sobreviven por todas las generaciones.

SP 17



Gen 0

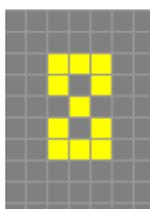


Gen 1-∞

Operación de unión del signo escalonado con la una unidad periódica.

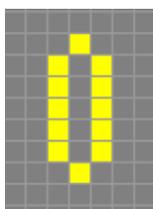
La variante de la cruz eterna.

SP 18

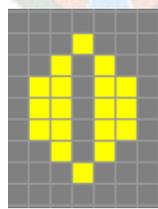


Gen 0

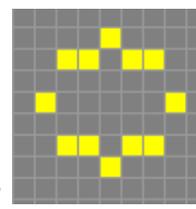
Intersección de dos signos escalonados a partir del *SP 17* que configuran el signo Z de la (Figura 6, XIX). Asimismo, nótese en negativo la cruz eterna.



Gen 1

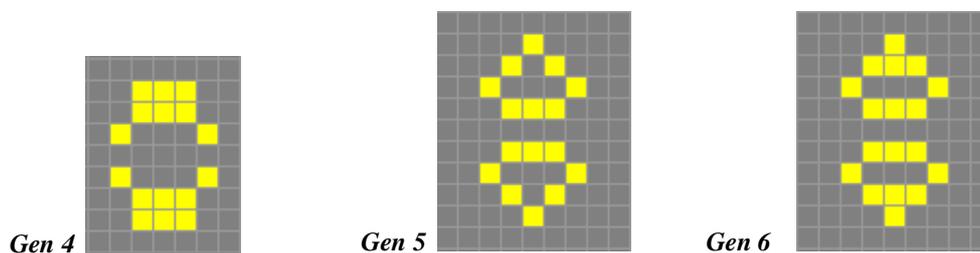


Gen 2

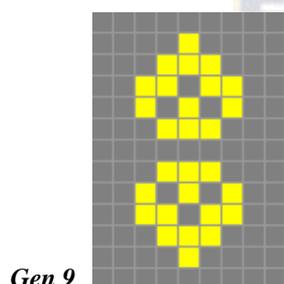
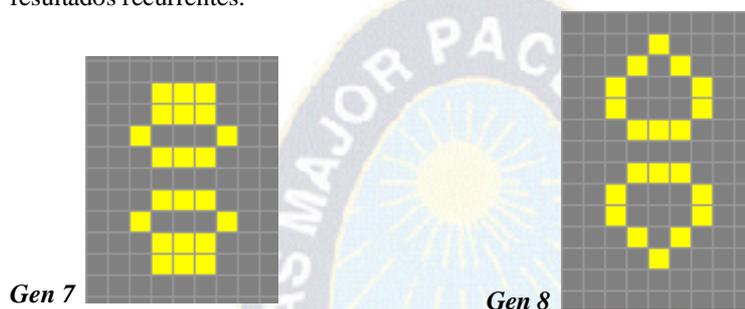


Gen 3

Obsérvese la dualidad de estas vecindades.



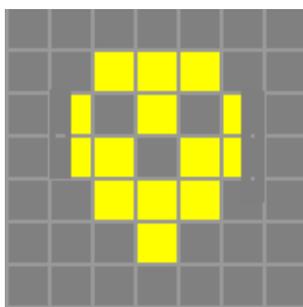
Nota 7. En el procesamiento por separado de estas vistas duales se obtienen varios resultados recurrentes.



Forma de una carita humana. Por constituirse en una vista dual, puede a su vez convertirse en un nuevo patrón de estudio al procesarlo de manera independiente (véase el *SP 20*).

Por lo que en el diseño, la configuración de la parte inferior de esta generación *Gen 9* resulta (Figura 17):

Figura 17. Adaptación de carita tiwanacota.

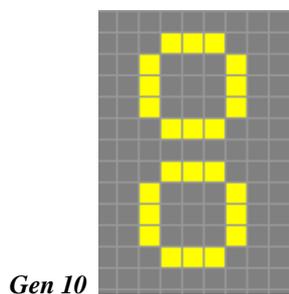


Fuente: (Elaboración propia).

La cual representa una de las expresiones más significativas del Templo Semisubterráneo como se muestra en la (Fotografía 6). Las 42 caritas del Templo Semisubterráneo son rostros de guerreros que pertenecían a una clase social élite en la cultura tiwanacota.:

Fotografía 6. Carita tiwanacota

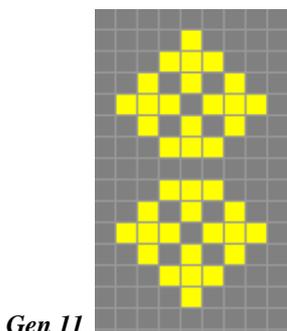




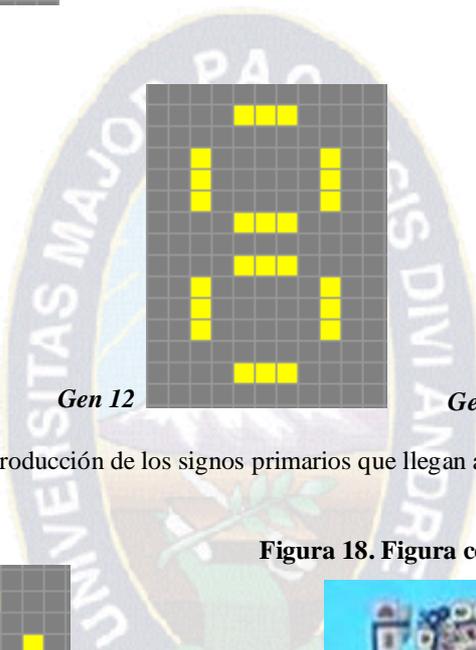
Gen 10

Reproducción en dos unidades del signo Putuni (*SP 2, Gen 4*). Luego, en términos algebraicos:

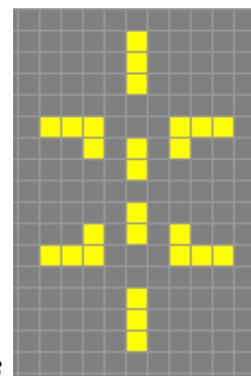
$$(SP 2, Gen 4) = 2 (SP 18, Gen 10)$$



Gen 11



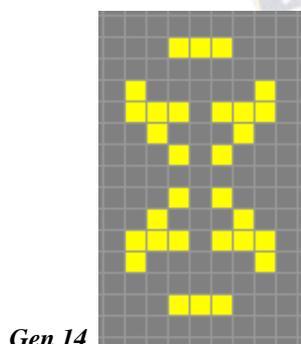
Gen 12



Gen 13

Diferentes formas de reproducción de los signos primarios que llegan a convertirse en patrones recurrentes.

Figura 18. Figura central de la puerta del Sol.

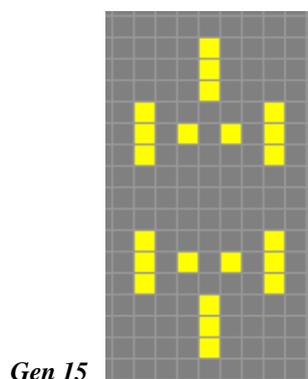


Gen 14

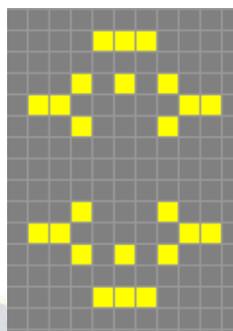
Silueta estilizada en un autómata celular del personaje central postrado en un pedestal de tres escalones como muestra la (Figura 18).



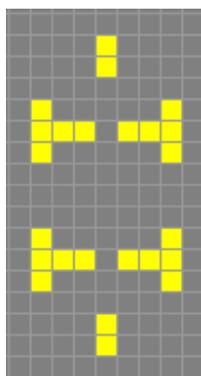
Fuente: (Anexo F, Real positiva).

**Gen 15**

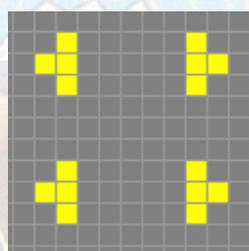
Recurrencia de la unidad periódica.

**Gen 16**

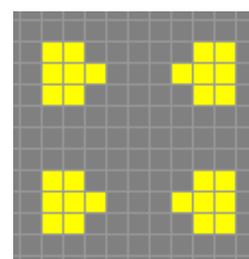
Recurrencia de la unidad periódica.

**Gen 17**

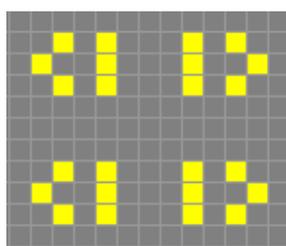
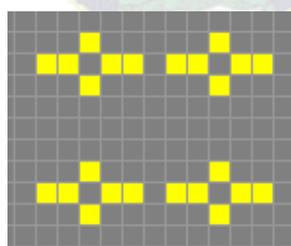
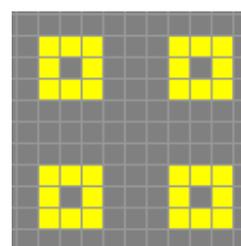
Se observa la recurrencia y la multiplicación del signo de la cruz Tau (*SP 8*).

**Gen 18**

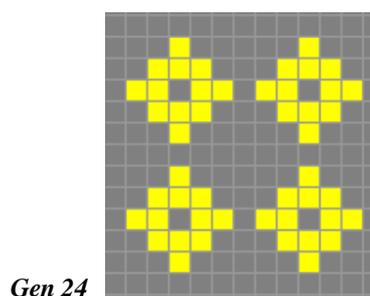
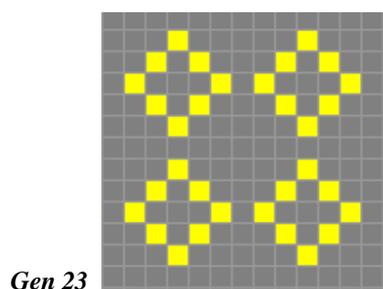
Reproducción del signo Tau corto descrito en el *SP 11*.

**Gen 19**

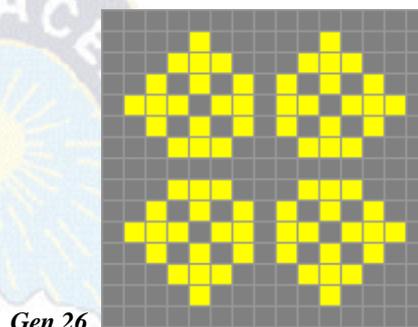
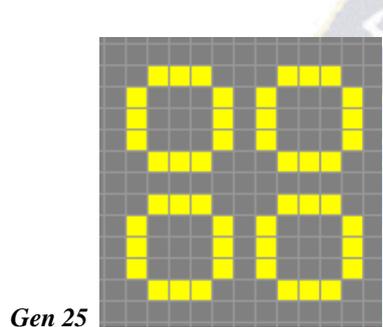
Reproducción del signo wakulla.

**Gen 20****Gen 21****Gen 22**

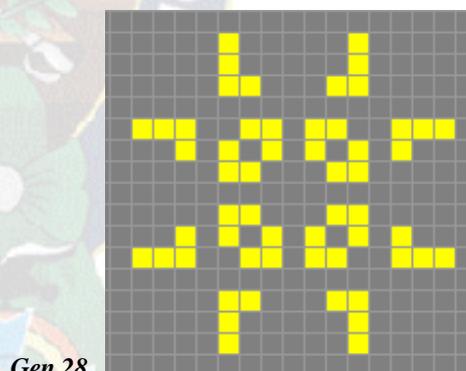
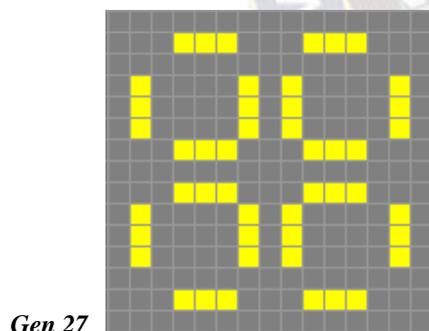
En estas configuraciones se observa las sucesivas reproducciones de patrones de recurrencia en un factor 4.



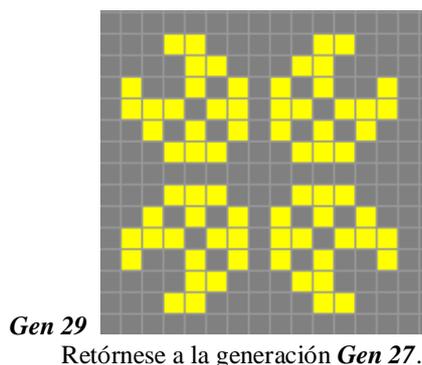
La cruz progresional de tres escalones (*SP 2, Gen 3*) en un factor 4. Cuando llega a explotar en la siguiente generación (*Gen 25*):



Se provoca la estructura que corresponde al bloque del palacio de Putuni a otra escala (véase Fotografía 2).



Recurrencia de la unidad periódica en número de 16 células.



Las generaciones **27**, **28** y **29** forman estructuras de período tres formándose un ciclo infinito. Por lo que el signo Z, es uno de los símbolos más completos en su evolución.

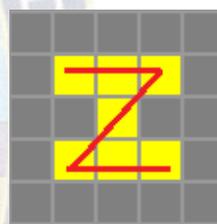
SP 19



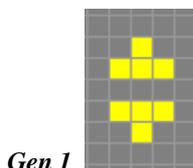
Corresponde al signo Z de la (Figura 6, XVIII), son dos cruces Tau cortas (**SP 11**) intersectados por una de sus células como se ve en la (Figura 19):

Una variante del signo Z que para Posnansky (1913) representa el elemento tierra que está alumbrada por el sol o la luna en la oscuridad. Otra interpretación del ideograma es una dualidad cielo-tierra conectado diagonalmente por un rayo. En física, la partícula Z es una partícula de interacción nuclear bastante débil.

Figura 19. El signo Z.



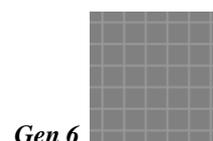
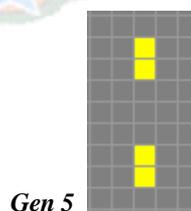
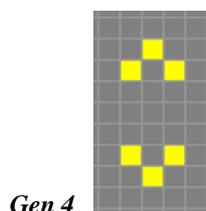
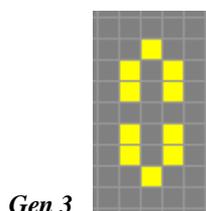
Fuente: (Elaboración propia).



Dos signos escalonados simples.

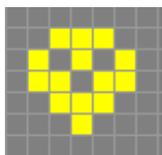


Dos signos bloques de seis células descritos en la asimetría del signo gamma (**SP 5, Gen 2**). Formalmente, $(SP 19, Gen 2) = 2 (SP 5, Gen 2)$.

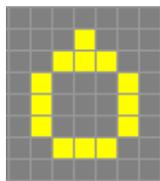


Es la no sobrevivencia de este signo Z (**SP 19**) a través de las sucesivas generaciones.

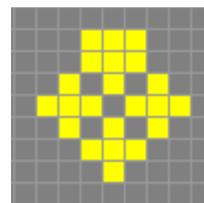
SP 20



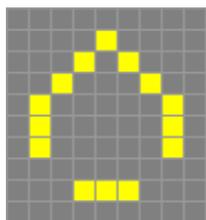
Gen 0
Forma de una carita.



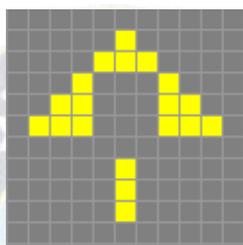
Gen 1
Signo de Putuni, pero con una célula en la parte superior.



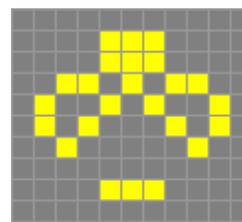
Gen 2
Reproducción de las cruces andinas y un signo en forma de recipiente.



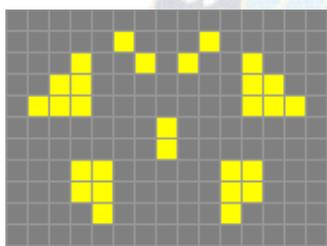
Gen 3
Signo escalonado de tres escalones y tres unidades periódicas.



Gen 4

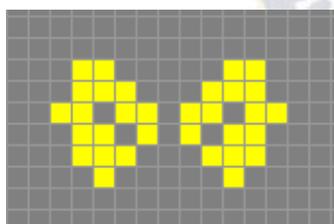


Gen 5



Gen 15

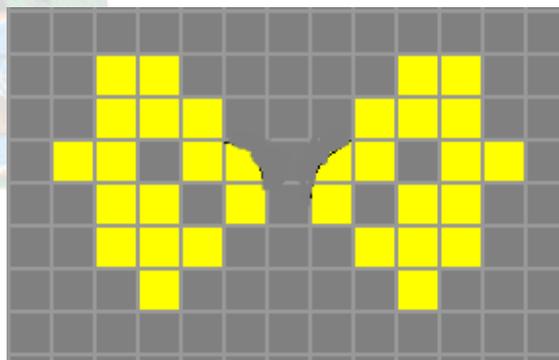
En esta generación **Gen 15** se puede apreciar otro de los símbolos que propone Posnansky (véase Figura 6, XIV).



Gen 29

En el diseño, presenta la configuración que muestra la siguiente (Figura 20):

Figura 20. Adaptación de cabeza de cóndor.



Fuente: (Elaboración propia)

Posible representación estilizada de la (Figura 21) que muestra un ave cóndor que compone el báculo de la Figura central en la Puerta del sol:

Figura 21. Cabeza de cóndor en la Figura central.



Fuente: (Anexo F, Real positiva).

Además, la población dual o invertida (vista desde arriba) de esta *Gen 29* está dado por:

En el diseño se tiene la estructura que muestra la siguiente (Figura 22):

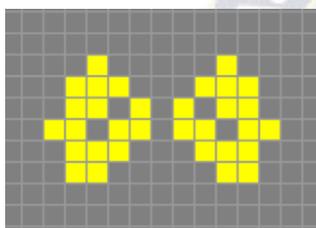
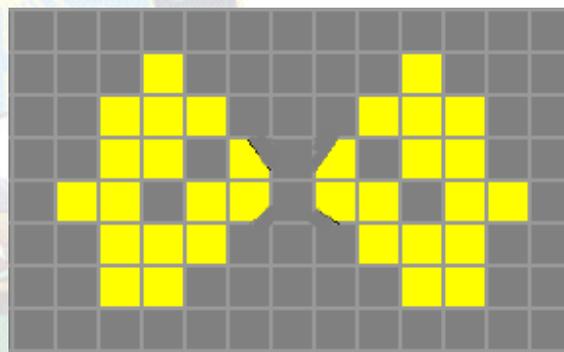


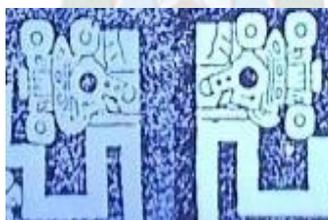
Figura 22. Adaptación de cabeza de llamita.



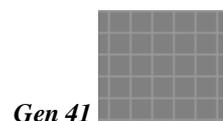
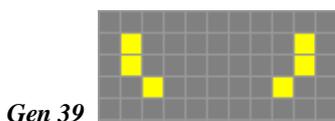
Fuente: (Elaboración propia).

Otra representación tentativa de un rostro de llamita en un autómata celular que muestra la (Figura 23). En la cultura tiwanacota predominan tres figuras de animales grabados en los diseños arqueológicos: el cuadrúpedo (como un felino, un auquénido), el ave y el pez.

Figura 23. Representación de carita de llamita en la Figura central.

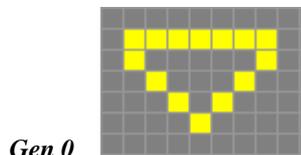


Fuente: (Anexo F, Real positiva).

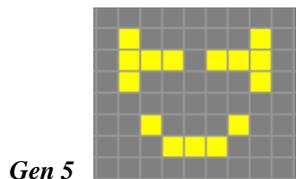


Las tres últimas generaciones del **SP 20** no sobreviven luego de 42 generaciones.

SP 21

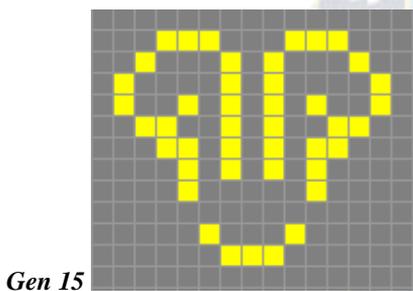


Signo escalonado de cuatro escalones propuesto por Posnansky de la (Figura 6, VI) pero en sentido invertido.



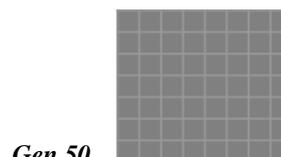
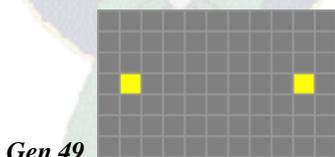
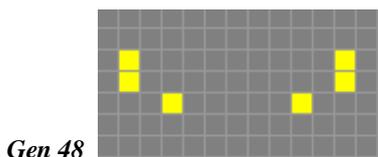
Operaciones con signos primarios: el signo Tau con giro de 90° compuesto con el signo escalonado (**SP 14**).

Figura 24. Rostro de felino generado por un autómatu celular.



En la (Figura 24) aparece una imagen semejante a los rostros de la parte superior de la Figura central de la Puerta del Sol y que probablemente represente una máscara de felino (véase Anexo F, Real positiva).

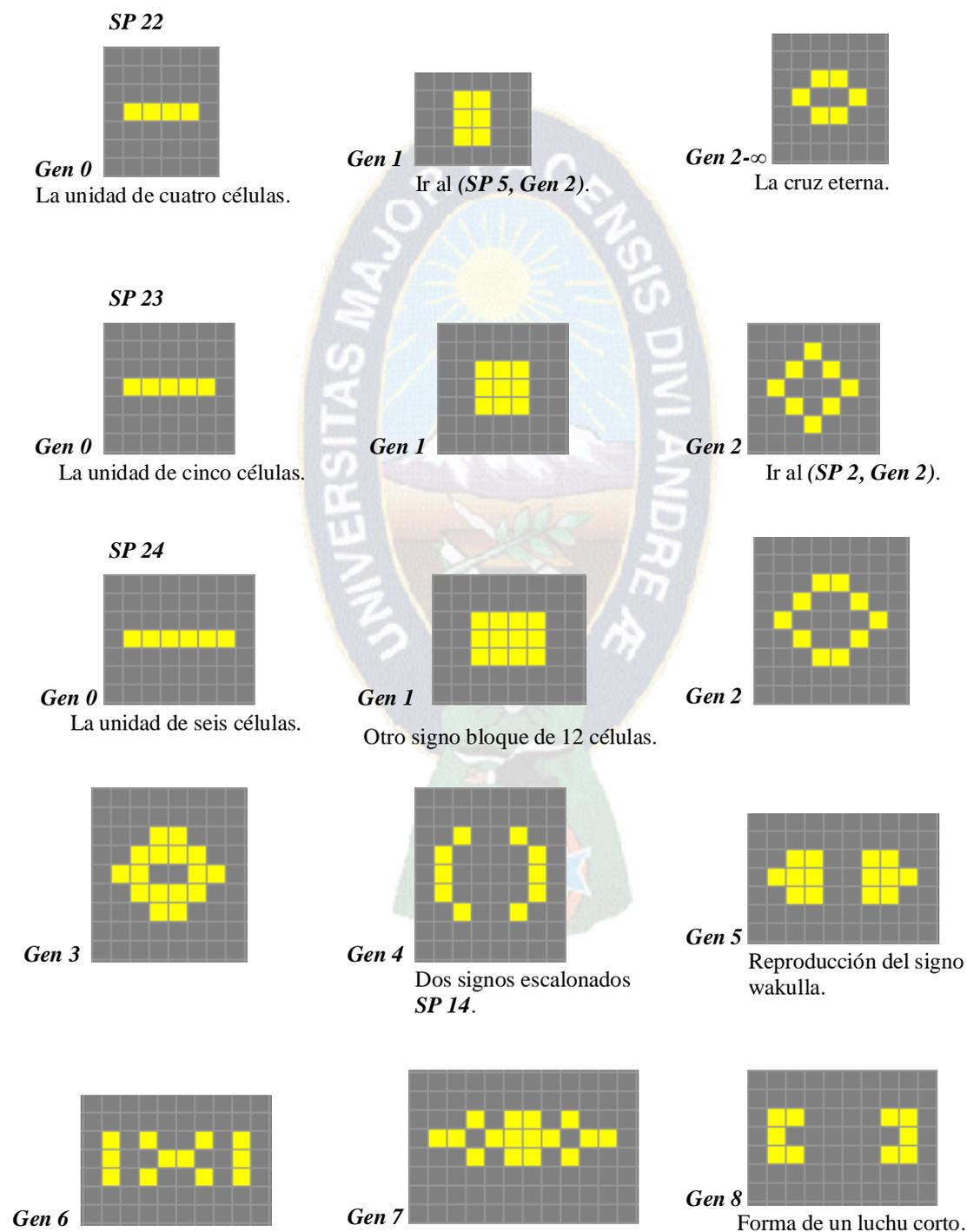
Fuente: (Elaboración propia).

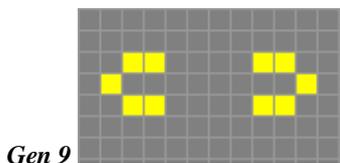


Las tres últimas generaciones del **SP 21**, como se observa la población llega a extinguirse.

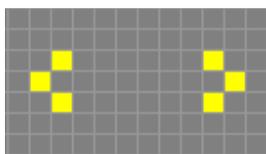
3.1.3 Análisis de la extensión de la unidad periódica

Finalmente, para concluir este estudio de los signos primarios, se considera la extensión de la unidad periódica, al incremento en el número de sus células, así:



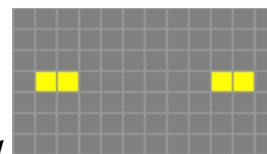


Gen 9

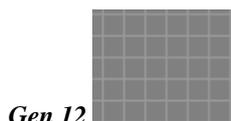


Gen 10

Reproducción del signo escalonado o ir al SP 10.



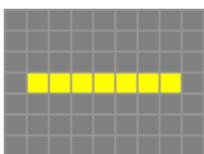
Gen 11



Gen 12

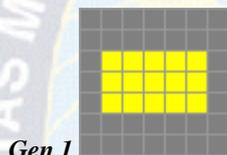
Es el retorno al vacío o a la vecindad de células en estado inactivo. Puesto que la unidad de seis células (SP 24) y el signo escalonado de dos escalones (SP 10) retornan al vacío, entonces el SP 10 y el SP 24 en un factor 2, son equivalentes

SP 25



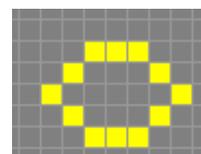
Gen 0

La unidad de siete células.



Gen 1

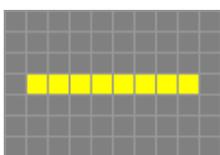
Bloque de 15 células.



Gen 2

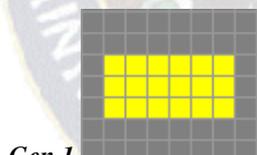
Ir al (SP 7, Gen 6).

SP 26



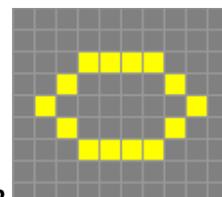
Gen 0

La unidad de ocho células.

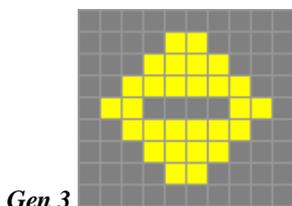


Gen 1

Tres bloques de seis células que están unidos.

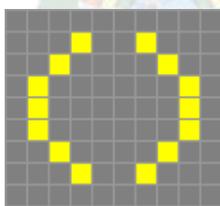


Gen 2



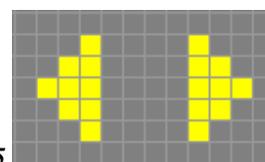
Gen 3

Cruz progresional de cuatro escalones con 28 unidades o células.



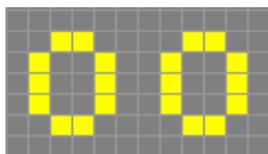
Gen 4

Signo escalonado de tres escalones.



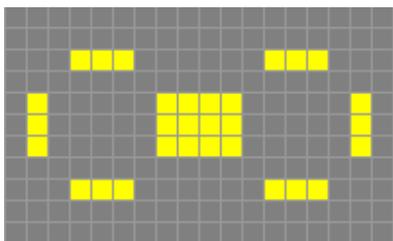
Gen 5

Signo escalonado de tres escalones.



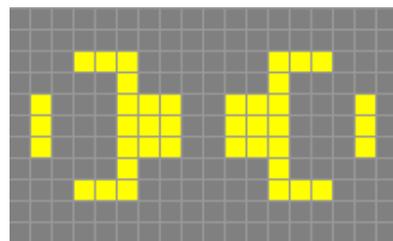
Gen 6

Variante del signo Putuni.

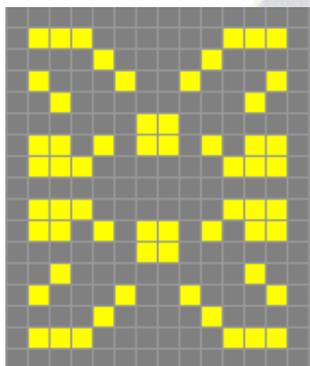


Gen 21

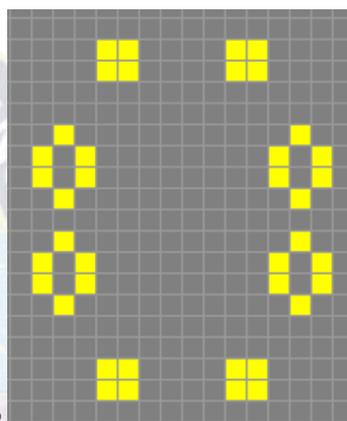
Recurrencia de la unidad periódica.



Gen 25



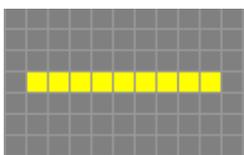
Gen 40



Gen 48-∞

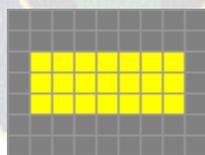
Dos signos terminales reproducidos un factor 4.

SP 27



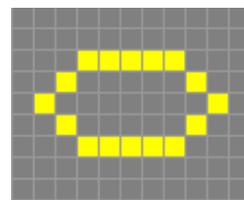
Gen 0

La unidad de nueve células.

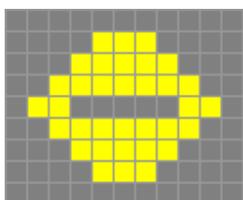


Gen 1

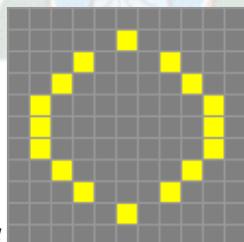
Bloque de 21 células.



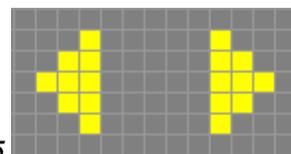
Gen 2



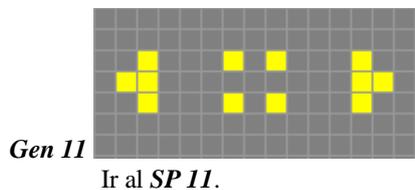
Gen 3



Gen 4



Gen 5



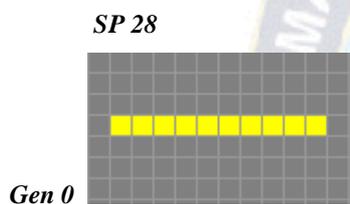
Reproducción del *SP 11*. Las cuatro células aisladas no sobrevivirán en la siguiente generación. Por la propiedad transitiva, la unidad de nueve células (*SP 27*) es equivalente al *SP 2*, la chakana, pero en un factor 2.

Esta situación se puede expresar formalmente de la siguiente manera:

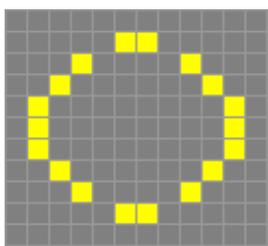
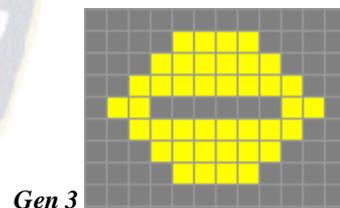
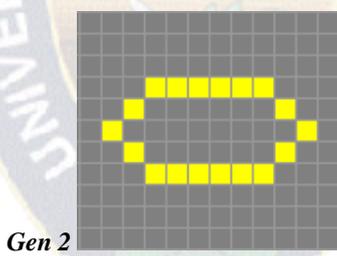
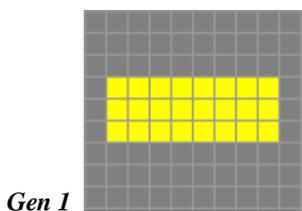
$$(SP\ 27, Gen\ 11) = 2\ SP\ 11$$

$$2 (SP\ 27, Gen\ 15) = 2 (SP\ 2, Gen\ 1)$$

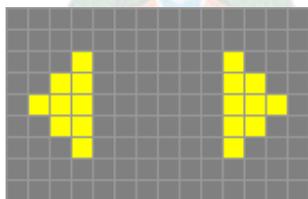
Así, los signos primarios *SP 27*, *SP 11* y *SP 2* son equivalentes.



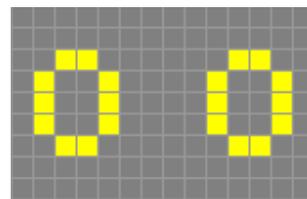
Es la extensión de la unidad periódica en un número de 10 células.

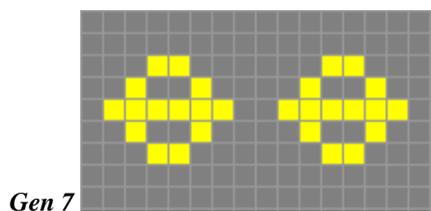


Variante del pedestal de tres escalones en los laterales.

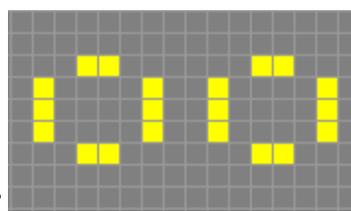


Dos signos escalonados de tres escalones con el número de células completas.

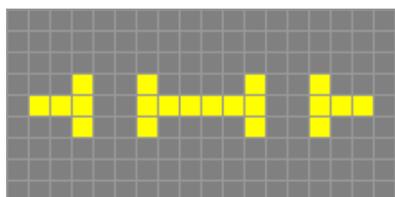




Gen 7

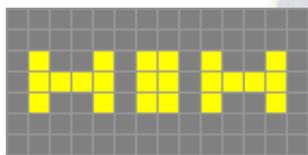


Gen 8



Gen 9

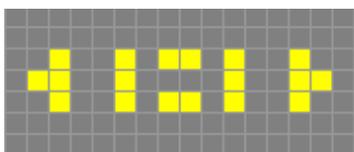
Recurrencia del signo Tau.



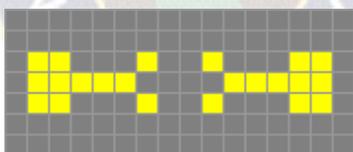
Gen 10

Aritmética de signos primarios: Unión de dos signos Tau.

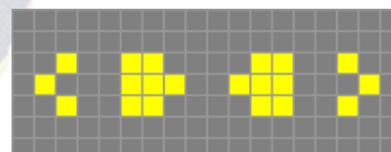
Fotografía 7. Unión de bloques Tau en la pirámide de Pumapunku.



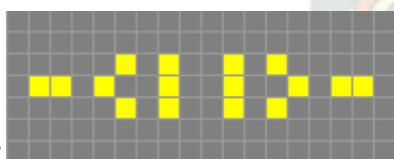
Gen 11



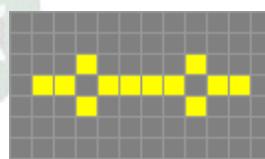
Gen 12



Gen 13

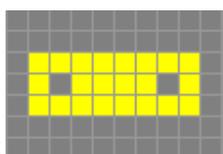


Gen 14



Gen 15

Unión de dos cruciformes largas (SP 11, Gen 3).



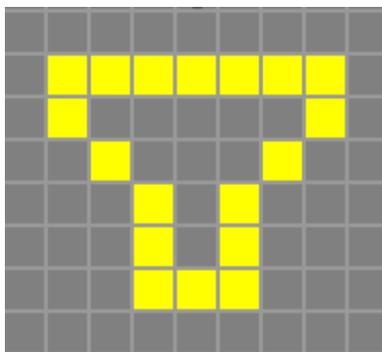
Gen 16

Retórnese al (SP 28, Gen 2).

Se forma un ciclo de período 15, el ciclo más largo de este estudio.

SP 29

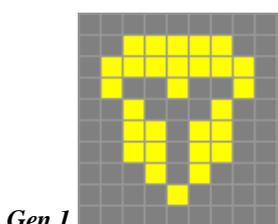
Figura 25. El signo pedestal largo.



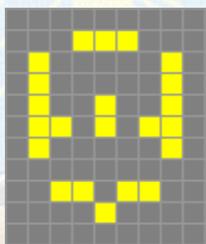
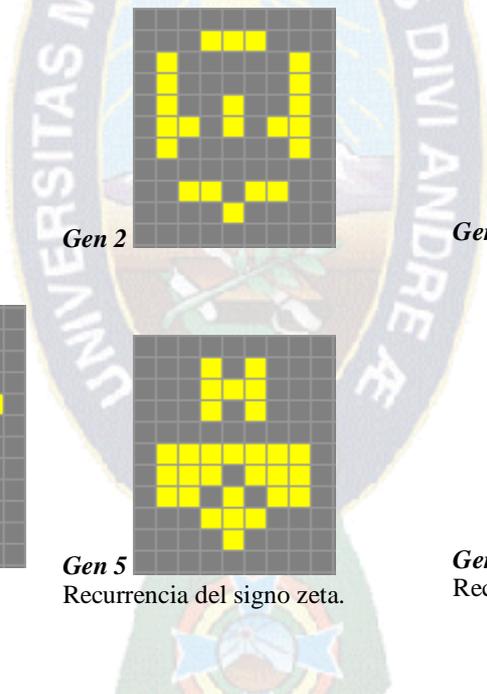
Gen 0

Fuente: (Elaboración propia).

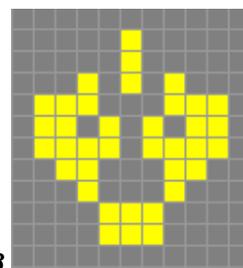
Finalmente, para concluir el estudio de los patrones el *signo pedestal largo* que es una composición de los siguientes patrones: En la parte superior se tiene la unidad periódica (SP 1) conectada con dos signos gamma (SP 4). Estos dos signos gamma, a su vez, se conectan también por una célula al signo arco o luchu (SP 9).



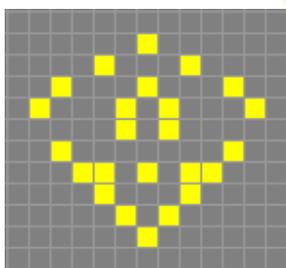
Gen 1



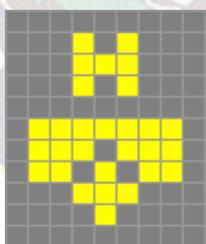
Gen 2



Gen 3

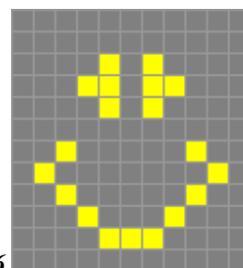


Gen 4



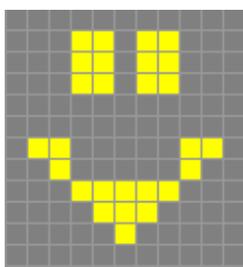
Gen 5

Recurrencia del signo zeta.



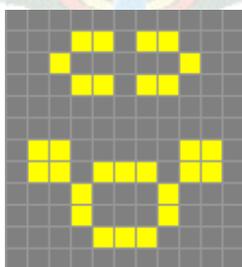
Gen 6

Recurrencia del signo Tau corto.



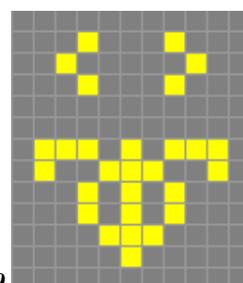
Gen 7

Recurrencia del signo bloque de seis células.



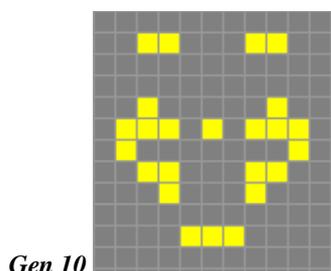
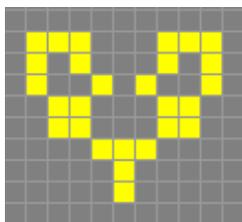
Gen 8

Recurrencia del signo bloque.

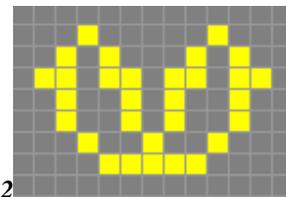
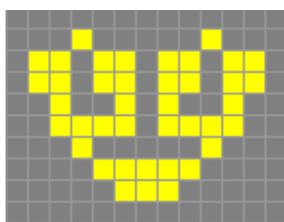
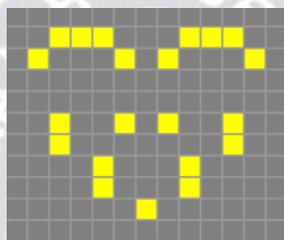


Gen 9

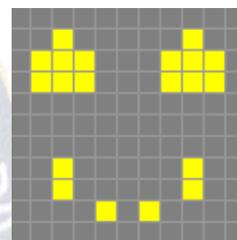
Recurrencia del signo escalonado.

**Gen 10****Gen 11**

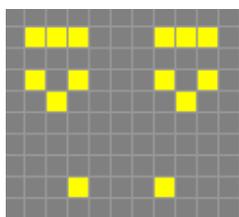
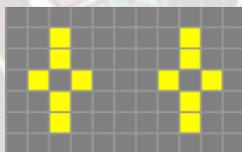
Recurrencia de la cruz Tau y del signo bloque.

**Gen 12****Gen 13****Gen 14**

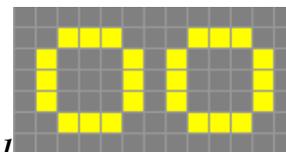
Aparición del signo escalonado extendido.

**Gen 15**

Recurrencia del signo wakulla.

**Gen 16****Gen 17**

Reproducción del símbolo cruciforme larga (*SP 11, Gen 3*).

**Gen 21**

Ir al (*SP 18, Gen 10*).

El signo pedestal largo (*SP 29*) es equivalente al signo Zeta (*SP 18*).

En este último signo pedestal largo (*SP 29*) prácticamente se tiene la recurrencia de la mayoría de los signos descritos como patrones de recurrencia.

CAPÍTULO 4

EPÍLOGO

Resumen

En este último capítulo cuatro, el epílogo, se expone los resultados producto de la investigación mostrando que la terna planteada problemática-objetivos-hipótesis queda comprobada con suficiencia. Luego, se describe las conclusiones y las recomendaciones derivadas del proceso investigativo.

4.1 Estado de los resultados de la investigación

4.1.1 Estado de la problemática

El estado de la situación problemática de este trabajo luego de concluido el proceso de investigación y según el Árbol de problemas (Anexo A) se establece así:

- a) En el análisis de los símbolos tiwanacotas se hace uso de herramientas informáticas como una computadora, un modelo computacional (juego de la vida) y programas de virtualización y de navegación web.
- b) A la pérdida de información en las inscripciones, en la iconografía y en el simbolismo tiwanacotas, se presenta una recuperación alternativa de los mismos mediante la relación de equivalencia de signos primarios por su formalidad conceptual.
- c) Aunque no es un objetivo específico de esta temática, el descifre del simbolismo tiwanacota, como una alternativa de interpretación opcional se expone el repertorio de patrones de recurrencia generados por el modelo del juego de la vida y así reducir en parte el alto grado de incertidumbre de esta enigmática civilización.
- d) El proceso inestructurado de búsqueda e identificación de los signos primarios que por su número es creciente (y por si acaso interminable) se disuelve con el estudio del signo escalonado, de la extensión de la unidad periódica y la aritmética de signos primarios propuesto.

- e) El estudio por separado de la cosmovisión andina, la microcosmovisión y los fenómenos naturales como se observa en los modelos generados se integran conceptual y matemáticamente en la geometría tiwanacota.
- f) Respecto de la relación asistemática de las figuras generadas con el modelo del juego de la vida se sistematiza con los patrones de recurrencia.
- g) El análisis geométrico de los signos primarios, por su naturaleza manual, es bastante limitado, pero con herramientas informáticas como se indica en el inciso a) el análisis tiene otro enfoque, es más abierto y amplio.
- h) En cuanto a los conceptos confusos de reflexividad, simetría y transitividad con la representación gráfica de los modelos generados se facilita la asimilación.
- i) Sobre la catalogación limitada de los signos primarios y de los patrones de recurrencia, en este trabajo se ofrece un panorama diferente de clasificar el simbolismo tiwanakota.
- j) Finalmente, abunda el diseño virtual de piezas arqueológicas tiwanacotas con poco énfasis en la matemática subyacente o su geometría tiwanacota. En esta investigación, a partir de los modelos generados se procede con la virtualización.

4.1.2 Estado de los objetivos

4.1.2.1 Estado del objetivo general

El estado del objetivo general se describe así:

- a) El trabajo incluye el análisis de 30 signos primarios divididos en tres secciones: la primera sección de Introducción a los signos primarios comprende 10 signos (**SP 0** al **SP 9**), la segunda sección de Análisis del signo escalonado tiene 12 variantes del mismo (**SP 10 al SP 21**) y concluye con el Análisis de la extensión de la unidad periódica, ocho signos (**SP 22 al SP 29**).
- b) Todos los signos primarios tienen una relación con los números primos (véase Cuadro 3) por lo que se los puede denominar “*signos primos*” (con excepción de la cruz eterna, pero es un patrón fijo).

- c) Todos los signos primarios son patrones de recurrencia, por lo que es factible construir una relación de equivalencia de signos primarios. Recuérdese que una clase de equivalencia tiene las propiedades de reflexividad, simetría y transitividad.
- d) Asimismo con los signos primarios se pueden realizar operaciones aritméticas (en función del número de células) y lógicas como la unión o concatenación, la intersección y la negación. O bien, operaciones con conceptos de la teoría de la computación como la composición, la proyección y la recursión. Además, la posibilidad de manipular en tiempo de procesamiento –con algún criterio fundamentado- la información (vecindad) y por ende se altera la secuencia lógica generacional.
- e) También es posible estudiar las unidades generacionales en términos de matrices y a partir de éstas, su transformación a unidades generacionales tridimensionales.

4.1.2.2 Estado de los objetivos específicos

- a) Los resultados señalan que se identificaron 30 signos primarios cuyo procesamiento con el autómata celular el juego de la vida generan “*por lo menos*” 12 patrones de recurrencia.
- b) El catálogo correspondiente de los signos primarios y de los patrones de recurrencia se muestra gráficamente en la siguiente sección (Estado de la hipótesis).
- c) El producto resultante es un repertorio de piezas arqueológicas virtualizadas en formato tridimensional.
- d) Las operaciones aritméticas que se pueden realizar con los signos primarios y los patrones de recurrencia son:
 - La unión o concatenación de células: Dos signos primarios o vecindades **A** y **B** de **n** y **m** células respectivamente se concatenan en una vecindad de **C** de **n + m** células.

- La intersección de signos primos o vecindades: Dos vecindades **A** y **B** de n y m células respectivamente se intersectan en una vecindad **C** de $(n + m) - 1$ células, es decir, la intersección es válida cuando exactamente una célula de la vecindad **A** y de la vecindad **B** se traslapan.
- La negación de células: Una vecindad de células activas **A** en una matriz **M**, tiene su vecindad opuesta **A'** (**A prima**) de células inactivas en la misma matriz **M**.

Además están las operaciones de composición, de proyección y de recursión de células, conceptos básicos de la teoría de la computación. En teoría de matrices, las propiedades bastante aplicadas en las sucesivas generaciones son la reflexividad, la simetría y la transitividad.

4.1.3 Estado de la hipótesis

La hipótesis enuncia la existencia de signos primarios y de patrones de recurrencia en los diseños arqueológicos de la cultura tiwanacota, los mismos se describen en el (Cuadro 3):

Cuadro 3. Catálogo de patrones de recurrencia.

No.	Código de SP	Nombre del Patrón de recurrencia	Patrón de recurrencia	Descripción
1.	SP 1	Unidad periódica		Es un signo primario en forma lineal de tres células.
2.	SP 2	Cruz andina		La chakana o cruz andina.
3.	SP 3	Cruz eterna		En los AA.CC. es un signo terminal.
4.	SP 4	Signo gamma		Se asocia con los rayos gamma.
5.	SP 8	Signo tau		En otras culturas, al igual que la cruz andina, es también una cruz sagrada.

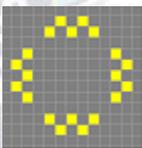
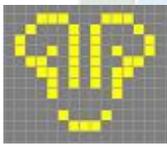
Cuadro 3. Catálogo de patrones de recurrencia (continuación).

6.	<i>SP 10</i>	Signo escalonado		Forma elemental del signo escalonado.
7.	<i>SP 14</i>	Variante de signo escalonado		El signo escalonado.
8.	<i>SP 19</i>	Signo zeta		La forma del signo Zeta que representa la interacción de partículas.
9.	<i>SP 23</i>	Unidad de cinco células		En su generación (<i>SP 23, Gen 3</i>) invoca a la cruz progresional de tres escalones que lo convierte en equivalente al <i>SP 3</i> .
Los siguientes patrones de recurrencia tienen una generación anterior:				
9.	(<i>SP 4, Gen 1</i>)	Signo bloque		Uno de los símbolos eternos.
10.	(<i>SP 5, Gen 2</i>)	Signo bloque de seis células		Inscrito en la parte central de la Figura Central (Anexo F).
11.	(<i>SP 14, Gen 1</i>)	Signo wakulla		Signo en forma de cántaro.
12.	(<i>SP 2, Gen 3</i>)	Cruz progresional		Chakana de tres escalones

Fuente: (Elaboración propia).

Ahora bien, según el anterior (Cuadro 3), los diseños arqueológicos generados mediante los patrones de recurrencia con el autómata celular el juego de la vida se resume en el siguiente (Cuadro 4):

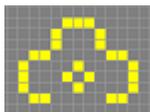
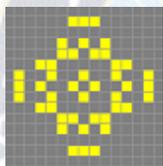
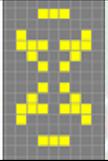
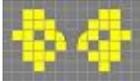
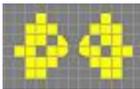
Cuadro 4. Símbolos generados mediante autómatas celulares.

No.	Código de SP	Símbolo generado	Descripción
1.	(SP 2, Gen 1)		Figura estilizada de la circunferencia en forma de disco solar y grabado en el monolito Ponce, en la Figura central (véase Fotografía 2).
2.	(SP 2, Gen 4)		Signo Putuni ubicado en las estructuras del Palacio de Putuni (Fotografía 2).
3.	(SP 5, Gen 2)		El signo bloque de seis células que se encuentra exactamente en la parte superior central de la Figura central (véase Anexo F, Anexo G).
4.	(SP 6, Gen 1)		Signo escalonado de Posnansky (Figura 6, II).
5.	(SP 7, Gen 16)		Reproducción del signo escalonado propuesto por Posnansky (Figura 6, III).
6.	(SP 14, Gen 1)		El signo wakulla presente en la parte central del pedestal de la Figura central (Anexo F).
7.	(SP 11, Gen 3)		Símbolo de una cruciforme larga visto en las ruinas de la pirámide de Pumapunku (Fotografía 5).
8.	(SP 21, Gen 15)		Rostro de felino de la Figura central (Anexo F).
9.	(SP 28, Gen 10)		Símbolo que representa la unión de la cruz Tau en las ruinas de la pirámide de Pumapunku (Fotografía 7).

Fuente: (Elaboración propia).

Respecto de los diseños arqueológicos generados “parcialmente” mediante el autómata celular el juego de la vida se resume en el siguiente (Cuadro 5):

Cuadro 5. Símbolos generados parcialmente mediante autómata celular.

No.	Código de SP	Símbolo generado	Descripción
1.	(SP 7, Gen 12)		Un posible plano de la pirámide de Pumapunku (véase Fotografía 4) idealizado por el arquitecto Escalante (1997).
2.	(SP 7, Gen 14)		Apariencia del dios Wiracocha como un modelo idealizado en el autómata celular el juego de la vida. La cruz eterna en el centro (véase Figura 13).
3.	Figura 11		El símbolo de la cruz cuadrada producto de sucesivos desdoblamientos del (SP 6, Gen 1).
4.	(SP 14, Gen 1)		El signo pedestal inscrito en la Figura central (Anexo F).
5.	(SP 18, Gen 9)		Adaptación de una carita tiwanacota (véase Fotografía 6).
6.	(SP 18, Gen 9)		Silueta con apariencia del personaje central en la Puerta del Sol (Figura 18).
7.	(SP 18, Gen 29)		Adaptación de una cabeza de cóndor (Figura 21).
8.	(SP 18, Gen 29)		Adaptación de una cabeza de llamita (Figura 23).

Fuente: (Elaboración propia).

El siguiente (Cuadro 6) muestra la relación de equivalencia de los signos primarios:

Cuadro 6. Equivalencia de signos primarios.

No.	Signos primarios	Descripción
1.	  SP 2 SP 11	El símbolo de la chakana (<i>SP 2</i>) y el signo de la cruz Tau corto (<i>SP 11</i>), por generar la circunferencia estilizada (<i>SP 11, Gen 4</i>) son equivalentes.
2.	  SP 11 SP 14	Equivalencia de signos escalonados por generar el signo wakulla (<i>SP 14, Gen 1</i>).
3.	    SP 5 SP 12 SP 13 SP 22	El signo gamma asimétrica (<i>SP 5</i>) y dos signos escalonados (<i>SP 12</i> y <i>SP 13</i>) además de la unidad de cuatro células (<i>SP 22</i>) son equivalentes al generar el signo bloque de seis células (<i>SP 13, Gen 2</i>).
4.	  SP 9 SP 16	Tanto el signo luchu o arco (<i>SP 9</i>) como la variante del signo escalonado (<i>SP 16</i>) son equivalentes por generar el (<i>SP 16, Gen 2</i>).
5.	  SP 7 SP 17	Los dos signos describen en sus últimas generaciones el símbolo de la cruz eterna (<i>SP 17, Gen 1-∞</i>), sólo que el primero reproducido en un factor 4 (<i>SP 7, Gen 18-∞</i>).
6.	  SP 18 SP 29	El signo zeta y el signo pedestal largo son equivalentes. Ambos se conectan mediante la reproducción del signo Putuni (<i>SP 2, Gen 4</i>) un factor 2 en el (<i>SP 18, Gen 10</i>).
7.	  SP 2 SP 23	El símbolo de la chakana (<i>SP 2</i>) y el signo de la unidad de cinco células (<i>SP 23</i>), por generar la cruz progresional de tres escalones (<i>SP 23, Gen 2</i>) son equivalentes.

Cuadro 6. Equivalencia de signos primarios (continuación).

8.	  SP 7 SP 25	El signo gancho (SP 7) y la unidad de siete células (SP 25) son equivalentes por procesar la misma generación (SP 25, Gen 2) que es una variante de cruz progresional de tres escalones.
9.	  SP 11 SP 27	Ambos signos primarios: el SP 11 (la cruz Tau corta) y el SP 27 (unidad de nueve células) son equivalentes por generar la cruz Tau corta (SP 27, Gen 11) pero esta generación en un factor 2 (o sea la cruz Tau corta se reproduce). Como el SP 11 es equivalente al SP 2 entonces el SP 27 es equivalente al SP 2 en un factor 2.

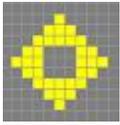
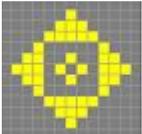
Fuente: (Elaboración propia).

En el desarrollo de la investigación se clasifica las cruces progresionales en función del número de escalones como también en función de las generaciones sucesivas que prescribe el modelo del juego de la vida (Algoritmo 1). Este resumen se muestra en el (Cuadro 7):

Cuadro 7. Cruces progresionales generados mediante autómata celular.

1.	  SP 2 SP 3	A partir de las cruces de dos escalones: el signo de la chakana (5 células) y de la cruz eterna (4 células).
2.	  (SP 2, Gen 2) (SP 2, Gen 3)	Cruces progresionales de tres escalones de donde (SP 2, Gen 2) tiene 8 células y (SP 2, Gen 3) tiene 12 células.
3.	  (SP 2, Gen 5) (SP 7, Gen 7)	Cruces progresionales de cuatro escalones con 20 células para (SP 2, Gen 5) y 22 células para (SP 2, Gen 7).

Cuadro 7. Cruces progresionales generados en autómatas celulares (continuación).

4.	 <i>(SP 7, Gen 9)</i>	Cruz progresional de cinco escalones que tiene 32 células.
5.	 <i>(SP 7, Gen 11)</i>	Cruz progresional de seis escalones y tiene 36 células. Si en la parte superior se suma la cruz eterna del centro como un escalón más, el resultado es una cruz de siete escalones.

Fuente: (Elaboración propia).

Ya que las cruces progresionales son modelos dinámicos evolutivos y considerando la totalidad de células activas: la cruz progresional de tres escalones tiene 13 células, la cruz progresional de cuatro escalones tiene 25 células, la de seis escalones 41 células y así sucesivamente... El cálculo aritmético del total de células que compone una cruz progresional en función de su número de escalones N se procede así: Como se trata de sumar números impares y la fórmula de la sumatoria para r números impares es r^2 , entonces para $(N - 1)$ escalones es $(N - 1)^2$. Se escribe $(N - 1)$, porque aún no se toma en cuenta la parte central de la cruz progresional. Esta expresión $(N - 1)$ se multiplica un factor 2 que corresponde a la parte superior y a la parte inferior, por lo que la expresión queda de la siguiente manera: $2 * (N - 1)^2$. Finalmente se suma la parte central de la cruz progresional que es la expresión $(2 * N) - 1$, por lo que se tiene el siguiente resultado en la variable S :

$$S = 2 * (N - 1)^2 + ((2 * N) - 1) \quad (1)$$

Simplificando esta expresión (1) se tiene la siguiente (Fórmula 3) que sirve para calcular el número total de células en una cruz progresional:

Fórmula 3. Cálculo del número de células en una cruz progresional.

$$S = (2 * N^2) - (2 * N) + 1$$

Fuente: (Elaboración propia).

Se concluye que las cruces progresionales son sistemas determinísticos, porque es posible predecir cuantitativamente el número de células de una cruz progresional en función de su número de escalones.

Ahora bien, las cruces progresionales generadas según el (Cuadro 7) y considerando la siguiente progresión y cálculo de operaciones aritméticas (Cuadro 8):

Cuadro 8. Cálculo de la progresion de las cruces originales.

<u>Número de escalones</u>	<u>Número de células</u>	<u>Diferencia</u>
2	4	0
3	8	4 (8 - 4)
4	20	12 (20 - 8)
5	32	12 (32 - 20)
6	36	4 (36 - 32)

Fuente: (Elaboración propia).

La secuencia 4 - 12 - 12 - 4 se alinea con el postulado del Ing. Molina (1995) en cuanto al descifre de la lógica tetraléctica, es decir, esta secuencia se transforma en:

$$4 = 3 + 1$$

$$12 = 3 * 4$$

$$12 = 3 * 4$$

$$4 = 3 + 1$$

Que corresponde a un cuarteto de ideas por la multiplicidad del valor 4 aplicado a la diferencia de número de células entre las sucesivas cruces progresionales generadas.

Para concluir este informe de resultados, algunas de las características de los signos primarios se mencionan a continuación: Los 4 símbolos eternos son: la cruz eterna (*SP 3, Gen 1-∞*), el signo bloque (*SP 4, Gen 1-∞*), la variante de la cruz eterna (*SP 7, Gen 18-∞*) y el signo gamma en contrarrelieve (*SP 6, Gen 3-∞*). En cuanto a la periodicidad de los signos primarios se tienen el ciclo de período 2: (*SP 1, Gen 0*) al (*SP 1, Gen 1*) que es la unidad periódica; el ciclo de período 3: (*SP 18, Gen 27*) al (*SP 18, Gen 29*) y el ciclo de período 15: (*SP 28, Gen 2*) al (*SP 28, Gen 16*) constituyéndose en el ciclo más largo de procesamiento.

4.2 Conclusiones

Las conclusiones que se obtienen del trabajo realizado son las siguientes:

- a) Todo el diseño arqueológico tiwanacota expresado en su simbolismo, en su iconografía y en sus estructuras son sistemas dinámicos porque manifiestan un carácter netamente evolutivo. Además, son sistemas caóticos en el sentido de que antes de procesar un signo primario aparece un grado de incertidumbre. Mas, una vez finalizado el procesamiento, en este caso mediante el modelo del juego de la vida, el signo primario es determinístico.
- b) Además, los diseños arqueológicos tiwanacotas cumplen también las características de los sistemas complejos porque al tratar con signos primarios como unidades individuales y éstos al ser procesados con el modelo del juego de la vida se auto-organizan y con capacidad emergente (los patrones de recurrencia).
- c) A partir del signo de la unidad (conjunto de células en forma lineal) de cuatro células, cinco células, etc. surgen las estructuras complejas porque con excepción de la unidad de 8 células todas tienen su relación de equivalencia con los anteriores signos primarios.

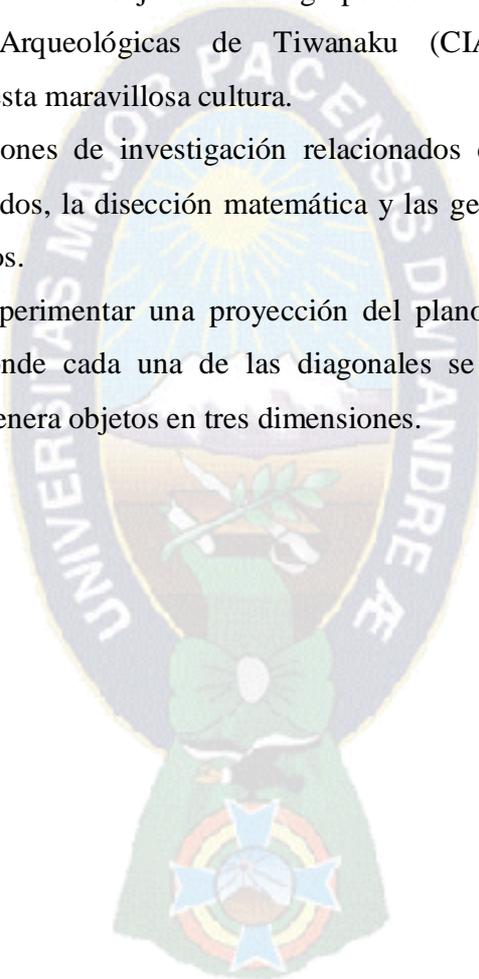
- d) Además, el código genético que porta el signo gancho se materializa a través de las sucesivas generaciones y se presenta en el modelo de autómatas celulares el juego de la vida.
- e) Supóngase que existen más signos primarios de los que menciona el Sr. Posnansky y que se perdieron en lo infinito del tiempo entonces por la relación de equivalencia en el autómatas celulares el juego de la vida, es posible destacar cuáles son los otros símbolos primarios capaz de generar estructuras tiwanacotas.

4.3 Recomendaciones

Como recomendaciones se indica lo siguiente:

- a) En cada una de las generaciones, se puede realizar mutaciones en tiempo de procesamiento, es decir, la manipulación de células según un determinado criterio que incide en el flujo normal del procesamiento.
- b) Dado que el algoritmo del juego de la vida es una función que no tiene inversa, es decir, que no se puede retroceder en el tiempo o preestablecer “analíticamente” los patrones anteriores que corresponden a un determinado patrón. Entonces se recomienda estudiar los orígenes de los signos primarios, por ejemplo de la chakana, en términos de AA.CC. Esto puede ser clave en el descifre y entendimiento de las piezas tiwanacotas en estado de ruinas.
- c) Profundizar en el estudio del comportamiento de la célula desde una óptica multidisciplinaria (genetistas, bioingenieros, físicos, etc.) para enriquecer el trabajo de investigación.
- d) El estudio de la extensión aun mayor de la unidad periódica, es decir, considerando más de diez células vivas.
- e) Los modelos generados en las sucesivas generaciones pueden servir de base en el reconocimiento de patrones con otra investigación orientada a este fin.
- f) Profundícese el estudio en la relación matemática de los números primos con los signos primarios o primos, es decir, un número primo en un número tal de células activas (o inactivas inclusive) en la teoría de los AA.CC.

- g)** También estos modelos generados pueden emplearse en la restructuración de aquellas piezas en estado de fragmentación, ruptura y deterioro.
- h)** Relaciónese los patrones de estudio, los modelos generados en autómatas celulares con la iconografía, el simbolismo y los jeroglíficos de otras civilizaciones como las culturas egipcia, maya, nórdica, etc.
- i)** Resultaría interesante trabajar con el grupo de investigación del Centro de Investigaciones Arqueológicas de Tiwanaku (CIAT) para trascender el conocimiento de esta maravillosa cultura.
- j)** Algunas ampliaciones de investigación relacionados con esta temática son el estudio, los teselados, la disección matemática y las geometrías: reticular y de los números complejos.
- k)** Recomiéndase experimentar una proyección del plano bidimensional al espacio tridimensional donde cada una de las diagonales se constituyen en la tercera coordenada que genera objetos en tres dimensiones.



Referencias bibliográficas

- Aboites, V. (2009, septiembre). Caos, Emergentismo y Estados Mentales: Un Análisis de la Frontera entre la Física y la Mente. *Acta Universitaria*.19 (2), pp.53-58, Universidad de Guanajuato M. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=41612893008>
- Amaru, X. (1996). Separata de La cosmovisión andina. Expresión y sentimiento espiritual andino-amazónico. Segundo encuentro de cosmovisión andino-amazónico. *El cuadrado mágico de Tiwanaku*. La Paz: Editor Centro de Cultura, Arquitectura y Arte Taipinquiri.
- Arias, F. (1976). Teoría de los sistemas. *Administración de recursos humanos*. 13-22. México: Trillas. Recuperado de http://recursos.udgvirtual.udg.mx/biblioteca/bitstream/123456789/1657/1/Teoria_de_los_sistemas.pdf
- Bunge, M, (1958). *La ciencia, su método y su filosofía*. Bs. As.: Editores Universales.
- Caballero, L. (2008). *La búsqueda del comienzo. El pensamiento complejo en biología*. México: CopIt ArXives.
- Cuevas, B. (2009). *Reconocimiento e interpretación de iconografía tiwanakota mediante redes neuronales artificiales* (Tesis de pregrado). Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.
- De la Cuadra, M. & Fernández, B. (2001). En XV Congreso Chileno de Ingeniería Hidráulica. Facultad de Ingeniería, Universidad de Concepción. *Modelación espacio-temporal de sequías regionales mediante autómatas celulares*. Concepción. Espíritu del antiguo Perú en San Francisco. (1997, 13 de julio). *El Diario*. Magazine, p. 8.
- Escalante, J. (1997). *Arquitectura prehispánica en los Andes bolivianos*. La Paz: Producciones CIMA, 3ª. Ed.
- Ibarra, D. (1992). *Ciencia en tihuanaku y el incario*. La Paz-Cochabamba: Editorial Los Amigos del Libro.

- Jara, P. (2009). *Geometría en una retícula*. Estalmat-Andalucía. Disponible en <http://www.ugr.es/~anillos/textos/pdf/2009/EXPO-1.Geometria%20en%20una%20Reticula/Geometria%20en%20una%20Reticula-1.pdf>
- Mahalanabis, A. (1987). *Introducción a la ingeniería de sistemas*. México: Limusa.
- Mandelbrot, B. (1987). *Los objetos fractales*. Francia: Tusquets Editores.
- Melero, León & Tórriz (2001). Proyecto financiado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología. *Reconstrucción interactiva de cerámica arqueológica*. Documento en línea. (Fecha de consulta: 23 de noviembre 2012). Disponible en <http://giig.ugr.es/publicaciones/art.mel04d/mel04d.pdf>
- Milla, C. (1995). Separata de La enigmática etnoastronomía andina. Tomo II. La cruz escalonada andina. *La constelación de la Cruz del Sur*. La Paz: Editor Centro de Cultura, Arquitectura y Arte Taipinquiri.
- Molina, J. (1995). Separata de La enigmática etnoastronomía andina. Tomo II. La cruz escalonada andina. *El descifre tetraléctico de la simbología tiwanacota*. La Paz: Editor Centro de Cultura, Arquitectura y Arte Taipinquiri.
- Molla, R. (S.F.), Documento digital. *Realidad virtual*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia. Recuperado de https://poliformat.upv.es/access/content/group/DOC_30669_2007/Realidad%20virtual/2.RealidadVirtual.Historia.pdf
- Pesce, M. (1996). *VRML para Internet*. México: Prentice Hall Hispanoamérica, SA.
- Ponce, C. (1969). *Descripción sumaria del templete semisubterráneo de Tiwanaku*. La Paz: Talleres de Cooperativa de Artes Gráficas E. Burillo Ltda.
- Posnansky, A. (1913). *El signo escalonado en las ideografías americanas con especial referencia a Tihuanacu*. Berlín: Editor Dietrich Reimer.

Posnansky, A. (1958). *Tiwanacu. La cuna del hombre americano*, 3 y 4. 275 pp. La Paz: Ministerio de Educación.

Rodríguez, F. (Ed.). (2007). *Estudie matemática paso a paso. Más de 100 juegos matemáticos*, 3. La Paz.

Sagárnaga, J. (Ed.). (2007, Marzo). Revista de Arqueología Boliviana. *Chachapuma*, (1), p.47.

Schwartzberg, A. (2004). Director de Cultura de la ciudad de El Alto en informe de actividades de la gestión 2004. La ciudad de las esculturas y el arte público. *Trabajando por el desarrollo cultural de El Alto*, p.11.

Sirpa, R. (1999). *Cálculo de dimensión fractal de imágenes* (Tesis de pregrado). Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.

Tórrez, C. (2004). *Imágenes legibles: la iconografía tiwanakota como significativa*. Santiago: Boletín del Museo Nacional de Artes Precolombinas del museo de Artes Precoso.

Vilca, V. (2008). *Rodolfo Kusch: La presencia de un pensamiento seminal en Latinoamérica*.

Bibliografía consultada

Corzón, C. (1988). Compilador e historiador, maestría en Historia andina y amazónica de la Universidad Mayor de San Andrés, actual gerente de CIMA Producciones Eds. *Tercer milenio, pueblos del pasado*. La Paz: CIMA Producciones Eds.

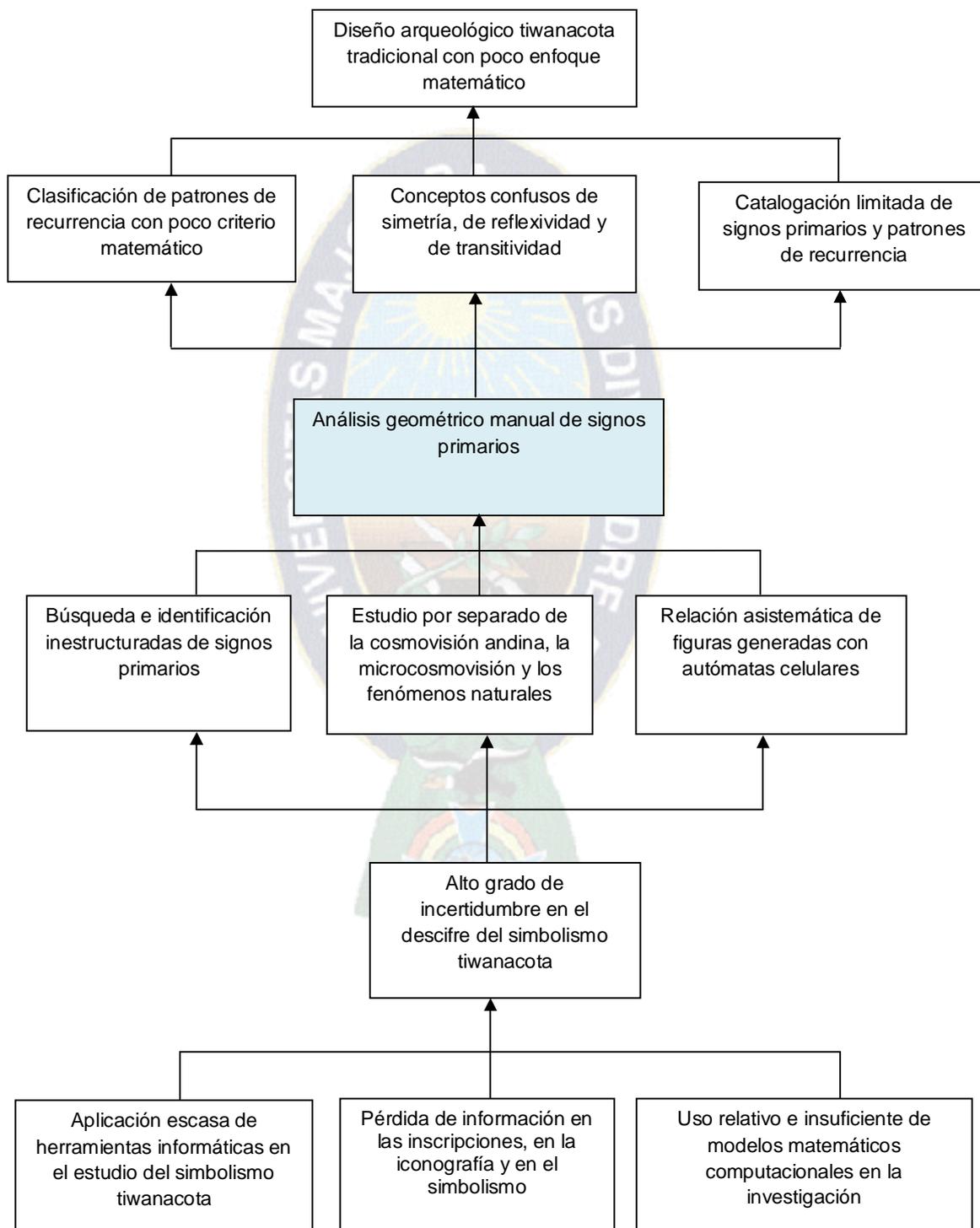
Hernández, R., Fernández, C. & Baptista, P. (1997). Texto de orientación general en la metodología de investigación. *Metodología de la investigación*. Colombia: Panamericana Formas e impresos S. A.

Huidobro, J., Arce, F. & Quispe, P. (1994). *La verdadera escritura aymara*. La Paz: CIMA Producciones Eds.

- Ibarra, D. (1953). *La escritura indígena andina*. La Paz: Talleres Gráficos Bolivianos.
- Mitre, B. (1954). *Las ruinas de Tiwanaco*. Bs. As.: Editor Hachette.
- Molina, J. (Ed.). (1991). Colección de La sabiduría tiwanakota. *Los enigmas geométricos de Tiwanaku* (Epígrafe), (1), 16 pp. La Paz. Nuevas tecnologías al servicio de la preservación del pasado histórico. (1997, 15 de junio). *El Diario*. Magazine, p.7.
- Munguía, A. (2005, 10 de septiembre). Estado superior de conciencia y el secreto de la civilización andina, *El Diario*, p.12.
- Ostermann, C. (2002). Polémica inacabable (2002, 15 de marzo). *La Prensa*, Suppl. p.2b.
- Paniagua, E. (2002). Marcado con 21 impactos de bala. (2002, 15 de marzo). *La Prensa*, Suppl. p.7b.
- Ponce, C. (1969). Separata de Arte y Arqueología. *La ciudad de Tiwanaku*, (1), pp.5-32. La Paz: CIMA Producciones Eds.
- Ponce, C. (1999). *Tiwanaku 200 años de investigación arqueológica*. La Paz: CIMA Producciones Eds.
- Sagárnaga, J. (1997). Revista oficial del Centro de Investigaciones Arqueológicas en Tiwanaku (CIAT). *Pumapunku*. La Paz: CIMA Producciones.
- UNAM (2012), Universidad Autónoma de México. (Documento en línea). (Fecha de consulta: 23 de noviembre 2012). Disponible en <http://arkeopatias.files.wordpress.com/2010/07/modelo-virtual-teotihuacan1.jpg>

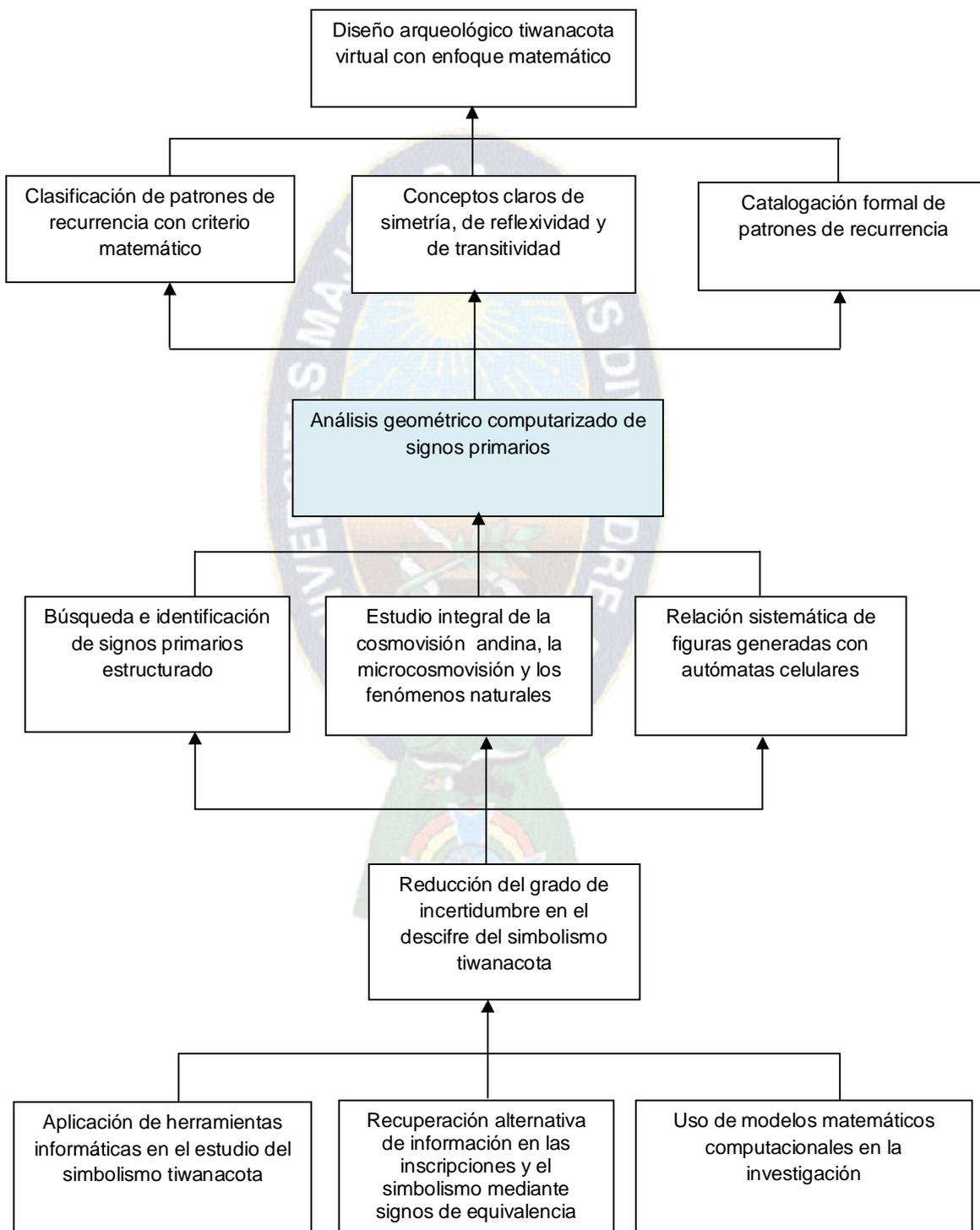
Anexo A

Árbol de problemas



Anexo B

Árbol de objetivos



Anexo C

Fuentes de recopilación de información

FUNDACIONES CULTURALES

Fundación Posnansky.

Fundación Cultural BCB (Banco Central de Bolivia) ubicado en la ciudad de La Paz (c/ Ingavi 989) <http://www.culturabcb.org.bo> tiene a su cargo siete instituciones a saber:

NOMBRE	DPTO.	DIRECCIÓN
Museo Nacional de Etnografía y Folklore	LA PAZ	Esq. Ingavi-Sanjinés 916 http://www.musef.org.bo
Museo Nacional de Arte	LA PAZ	Esq. Comercio-Socabaya http://www.mna.org.bo
Casa Nacional de Moneda	POTOSI	c/ Ayacucho s/n http://www.casanacionaldemoneda.org.bo
Museo Nacional de Etnografía y Folklore Regional Sucre	SUCRE	c/ España 74
Casa de la Libertad	SUCRE	Pza. 25 de Mayo 11 http://www.casadelalibertad.org.bo
Archivo y Bibliotecas Nacionales de Bolivia	SUCRE	c/ Dalence 4 http://www.archivoybibliotecanacionales.org.bo
Centro Cultural Santa Cruz	SANTA CRUZ	c/ René Moreno 369é Moreno 369 http://www.culturabcb.org.bo

PRINCIPALES MUSEOS

NOMBRE	DPTO.	DIRECCIÓN
Museo Nacional de Arqueología de Bolivia (MUNARQ) o Museo Regional de la Cultura Tiwanaku	LA PAZ	Esq. F.Zuazo-Tiwanaku
Museo de Arte Antonio Paredes Candía	EL ALTO	Esq. Núñez del Prado-M. Mayta (Ciudad Satélite)

PRINCIPALES BIBLIOTECAS

NOMBRE	DPTO.	DIRECCIÓN
Biblioteca Tiwanakota	LA PAZ	Esq. F.Zuazo-Tiwanaku
Biblioteca de Arqueología (UMSA)		Nuevo Edificio (2º patio)
Biblioteca del Archivo de La Paz (carrera de Historia, UMSA)	LA PAZ	Av. 6 de agosto
Biblioteca de Arqueología	LA PAZ	Nuevo Edificio
Biblioteca y Archivo Histórico del Honorable Congreso Nacional	LA PAZ	Esq. Mercado-Ayacucho 308
Unidad de Bibliotecas (Gov. Mcpal. De La Paz)	LA PAZ	Pza. del Estudiante
Biblioteca Central (UMSA)	LA PAZ	Av.Villazón

PRINCIPALES CENTROS DE INVESTIGACIÓN

CIAT, Centro de Investigaciones Arqueológicas en Tiwanaku (Provincia Ingavi del departamento de La Paz).

PORTALES DE TURISMO

<http://www.infotravel.org.bo>

<http://www.culturasdebolivia.gov.bo>

<http://www.bolivia.com/empresas/cultura/images/>

<http://www.boliviacultural.com>

<http://www.boliviaenlared.com>

<http://200.105.165.246>

PRINCIPALES REVISTAS CULTURALES

Chachapuma

Pumapunku

PRINCIPAL EDITORIAL

CIMA Producciones Eds., editorial especializado en libros de arqueología, antropología, etno-historia e historia de los pueblos prehispánicos y principal casa editora del CIAT con sus revistas culturales científicas Pumapunku (extinto) y Chachapuma.

INVESTIGADORES

Amaru Xavier

Bennett Wendell

Corzón Carmelo

Huidobro José

Ibarra Dick

Molina Jorge

Ponce Carlos

Posnansky Arthur

Rodríguez Fidel

Sagárnaga Jédu

Tamayo Franz



Anexo D

Actividades complementarias

Civilización y cultura, la definición de los conceptos de civilización y cultura fue larga y difícil llegando a una confusión total

Las transformaciones o modificaciones que realizó el hombre a la naturaleza le llamamos **cultura** (del latín cultus). Toda sociedad tiene por tanto cultura. En cambio, modernamente se da la siguiente definición sobre la **civilización** “es una cultura de calidad, un estadio superior al cultural”.

En una palabra, cuando las normas básicas que rigen la sociedad han alcanzado un grado de complejidad elevado debemos hablar ya de civilización. Por tanto, el concepto de civilización engloba el de cultura y no a la inversa.

Para la UNESCO¹², la cultura permite al ser humano la capacidad de reflexión sobre sí mismo: a través de ella el hombre descubre valores y busca nuevas significaciones.

Declaración Oficial de la UNESCO,

World Heritage Committee Inscrives 61 New Sites on World Heritage List

Thursday, November 30, 2000

Bolivia

Tiwanaku : Spiritual and Political Centre of the Tiwanaku Culture (C iii iv)

The city of Tiwanaku, capital of a powerful pre-Hispanic empire that dominated a large area of the southern Andes and beyond, reached its apogee between 500 and 900 AD. Its monumental remains testify to the cultural and political significance of this civilisation, which is distinct from any of the other pre-Hispanic empires of the Americas.

Etimología de Tiwanaco, se tienen muchas hipótesis de la palabra Tiwanaco partiendo de los idiomas quechua y aymara, pues ambos existen voces similares a la descomposición de la denominación.

¹² UNESCO, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (Organización para la Educación, Ciencia y Cultura de las Naciones Unidas). Documento en línea. [Fecha de consulta 23 de noviembre 2012]. Disponible en <http://whc.unesco.org/en/news/184>

En el idioma quechua, se puede descomponer en “Tiyay” (sentarse) y “wanaku” (guanaco) es decir, “siéntate guanaco”.

En aymara, “Tiwana-ku”, que se traduce “aquí las piedras paradas”.

“tiwananaka”, que significa “las piedras paradas”.

“tiwan-akan”, “aquí la piedra parada”.

Fractales,

El término fractal proviene del adjetivo latino “*fractus*” que significa interrumpido o irregular. Fue introducido en el año 1965 por el matemático polaco Mandelbrot, considerado el padre de la teoría fractal, al realizar estudios de la geometría de la naturaleza y enfatiza que no existe una definición formal de un objeto fractal por lo que se limita a la siguiente noción intuitiva: “un fractal es aquel objeto que tiene una forma, bien sea sumamente interrumpida o fragmentada, y sigue siendo así a cualquier escala que se produzca el examen” Mandelbrot (1987, p. 168). Este concepto indica que una parte está en el todo y el todo está exactamente en esa parte pero a diferentes escalas. Del holismo¹³ pregonado en la teórica general de sistemas, en la teoría de las fractales se convierte en: “el todo es la representación exacta de cada una de sus partes”. Es decir, se alinea con el reduccionismo científico que postula que un sistema complejo puede ser explicado mediante una simple reducción del mismo a las partes que lo componen.

Nota. El primer modelo de fractal fue creado en 1890 por el matemático italiano G. Peano llamado “la curva de Peano”. Anteriormente se publicó la función de Weirstrass en 1872, función continua pero no diferenciable en ninguno de sus puntos.

Al igual que en el estudio de los AA.CC. en los objetos fractales se considera tres componentes importantes:

- a) La *dimensión de homotecia interna*, se entiende como un número fraccional, irracional o entero que cuantifica el grado de interrupción e irregularidad de las curvas.

¹³ Holismo (del gr. holos, total, totalidad). El todo integrado es más que la suma de sus partes integrantes.

- b) La *propiedad de autosimilitud*, se refiere a la similitud entre el todo y sus partes, es decir, un pequeño trazo se repite a diferentes escalas conformando un todo. Está sujeta a una regla heurística¹⁴ la cual es una restricción o condición operativa de inferencia deductiva.
- c) La *geometría de la naturaleza* es caótica y está mal representada por lo perfecto de las formas usuales de la geometría de Euclides y del cálculo diferencial (Mandelbrot, 1987).

Historia de la CIAT (Centro de Investigación Arqueológica en Tiwanaku). Se inicia con el nombre de UNAAR ((Unidad Nacional de Arqueología) fundado el 20 de octubre de 1958.

El 14 de marzo de 1975, mediante D.S. número 12302 el CIAT se convierte en el Instituto Nacional de Arqueología (INAR) como parte del Instituto Boliviano de Cultura (IBC) dependiente por entonces del Ministerio de Educación y Cultura. Luego, en 1996 se dispuso la unificación de los institutos de Arqueología y Antropología en una sola institución denominada DINAAR (Dirección Nacional de Arqueología y Antropología de Bolivia).

Actualmente es el CIAAAT (Centro de Investigaciones Arqueológicas, Antropológicas y Administración de Tiwanaku) creado el 11 de octubre 2011, por D.S. número 1004 ubicado en la localidad de Tiwanaku (provincia Ingavi del departamento de La Paz).

Leyes

- Art. 335 Constitución Política del Estado Plurinacional de Bolivia (Sucre, 24 noviembre 2007):
 - I. El turismo se considerará una actividad económica estratégica, que deberá desarrollarse de manera sustentable, y tomando en cuenta la riqueza de la culturas y el respeto al medio ambiente.

¹⁴ Heurística, (del gr. "*heurisko*" que significa hallar o ¡Eureka! por "he hallado". Una frase atribuida a Arquímedes. La heurística es un método de inferencia deductiva.

II. El Estado promoverá y protegerá el turismo comunitario con el objetivo de beneficiar a las comunidades urbanas y rurales, y a los pueblos y naciones indígenas originario campesinos donde desarrolle esta actividad.

- Ley No. 292 Ley General de Turismo “Bolivia te espera”

Períodos de la civilización tiwanacota, la clasificación de los diversos períodos es netamente controversional hasta nuestros días inclusive. He aquí un extracto del texto *Ciencia en Tihuanaku y el incario*:

Cuadro 1. Períodos de la cultura tiwanacota según las fechas de carbono 14 obtenidos por Ponce.

Fuente: Ibarra (1992).

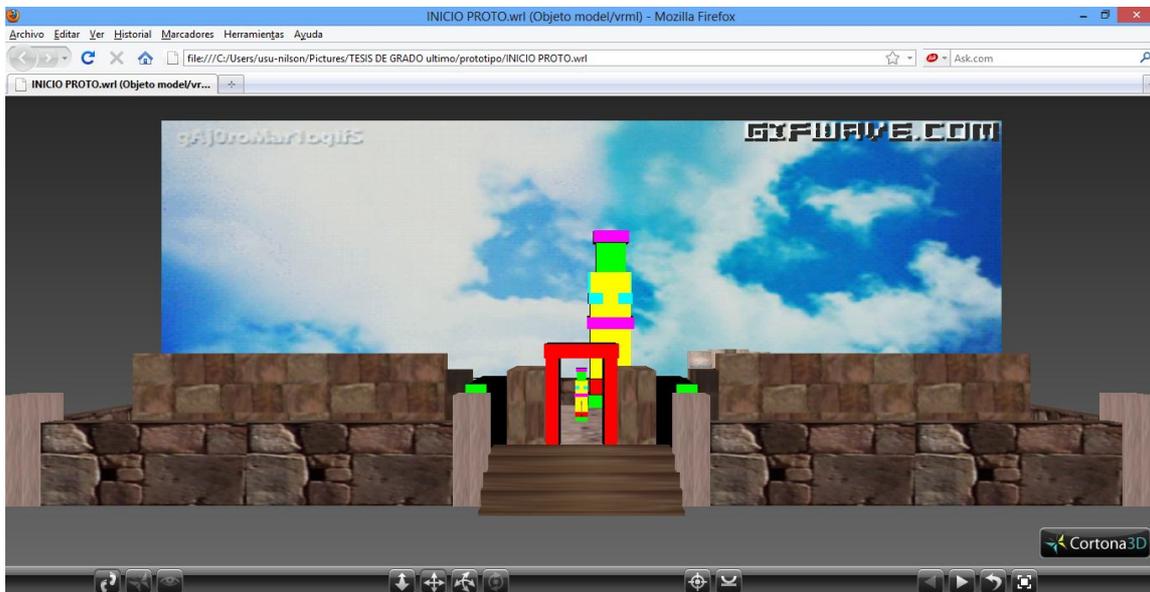
Posnansky	Ponce	Bennet	Fecha
	1500 a.C. (vestigios culturales) 500 a.C. TIWANACO I TIWANACO II		
TIWANACO PRIMITIVO I	TIWANACO III (I y II de Posnansky)	Antiguo	Mitad s. II de nuestra Era
TIWANACO II y III	TIWANACO IV (III de Posnansky) TIWANACO V	Clásico Decadente 724 y 1150 d.C.	s. IV s. VII
Época piedra polígona, edificios de adobe			

NOTA. En el recuadro se considera a la civilización tiwanacota como tal.

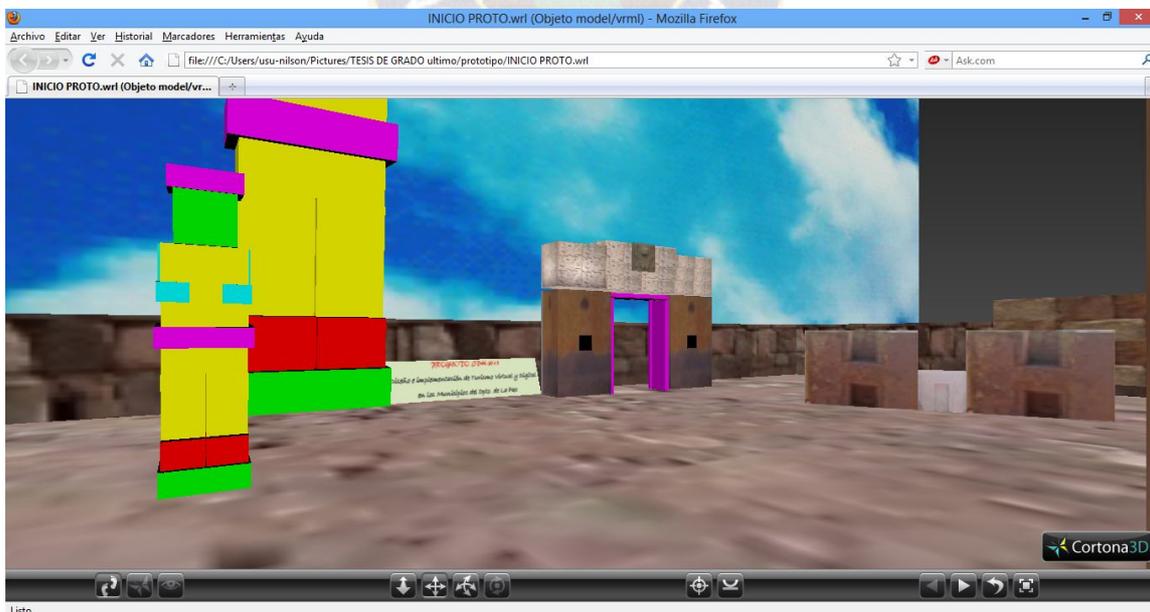
Tiwanaku, ubicado a 72 Km. de la ciudad de La Paz (Bolivia) y antigua ciudad preincaica a sólo 10 Km. al sureste del lago Titicaca. Su localización en Los Andes a unos 3.800 m.s.n.m. lo convirtió en la ciudad de mayor altura del mundo antiguo.

Anexo E

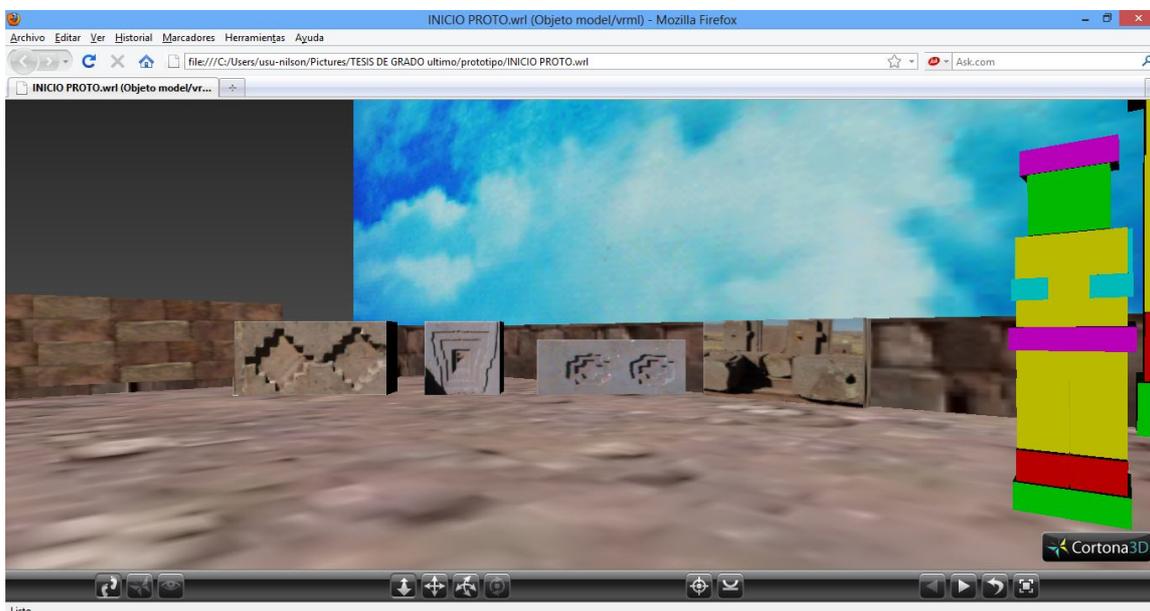
Escenarios y objetos virtuales tridimensionales



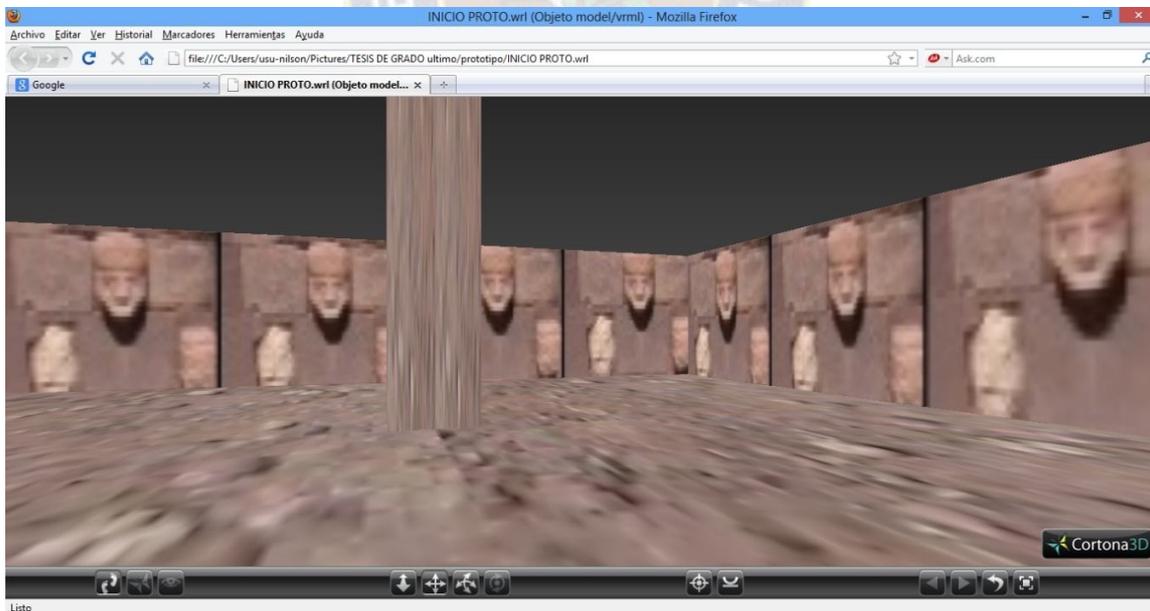
El templo de Kalasasaya



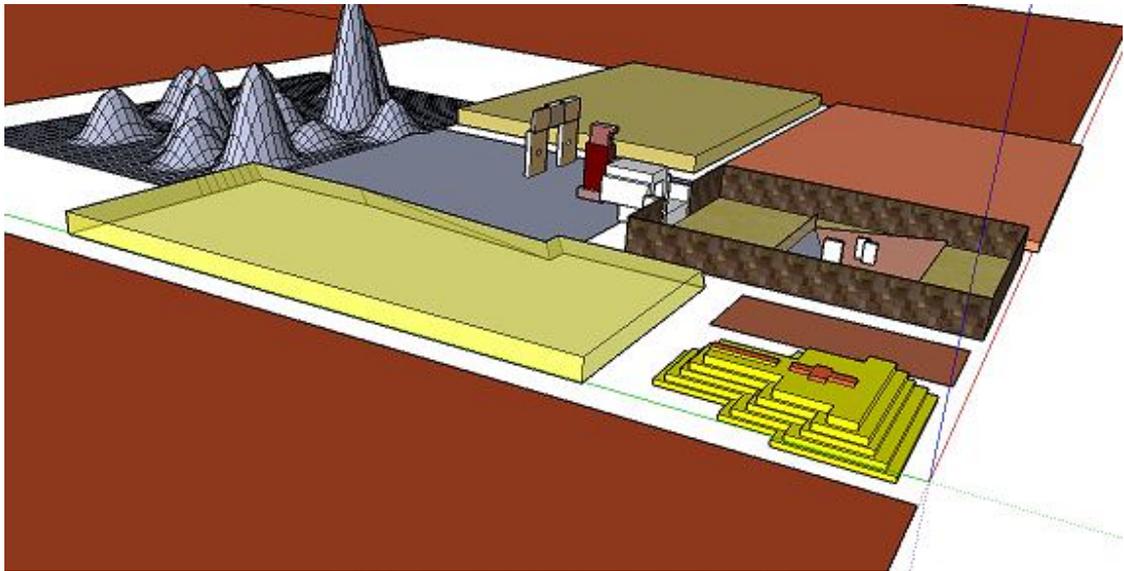
Un monolito, la Puerta del Sol y estructuras de la Pirámide de pumapunku



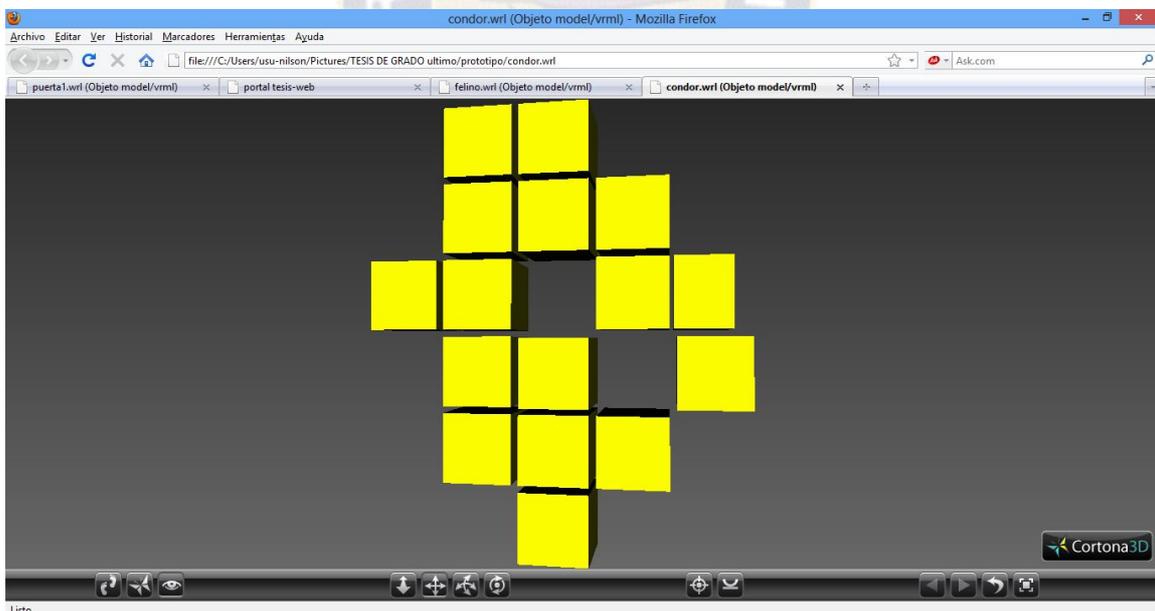
Geometría tiwanacota



PARTE DEL TEMPLETE SEMISUBTERRÁNEO



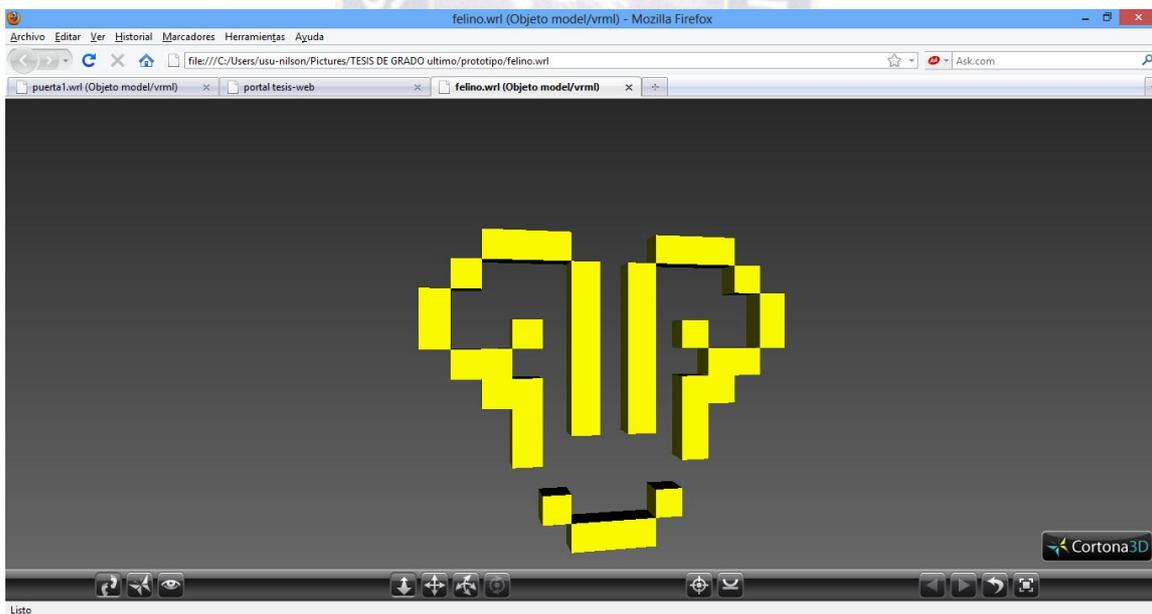
VISTA DE COMPLEJO DE TIWANACO EN SKETCH UP



CABEZA DE CÓNDORES GENERADO POR AUTÓMATA CELULAR

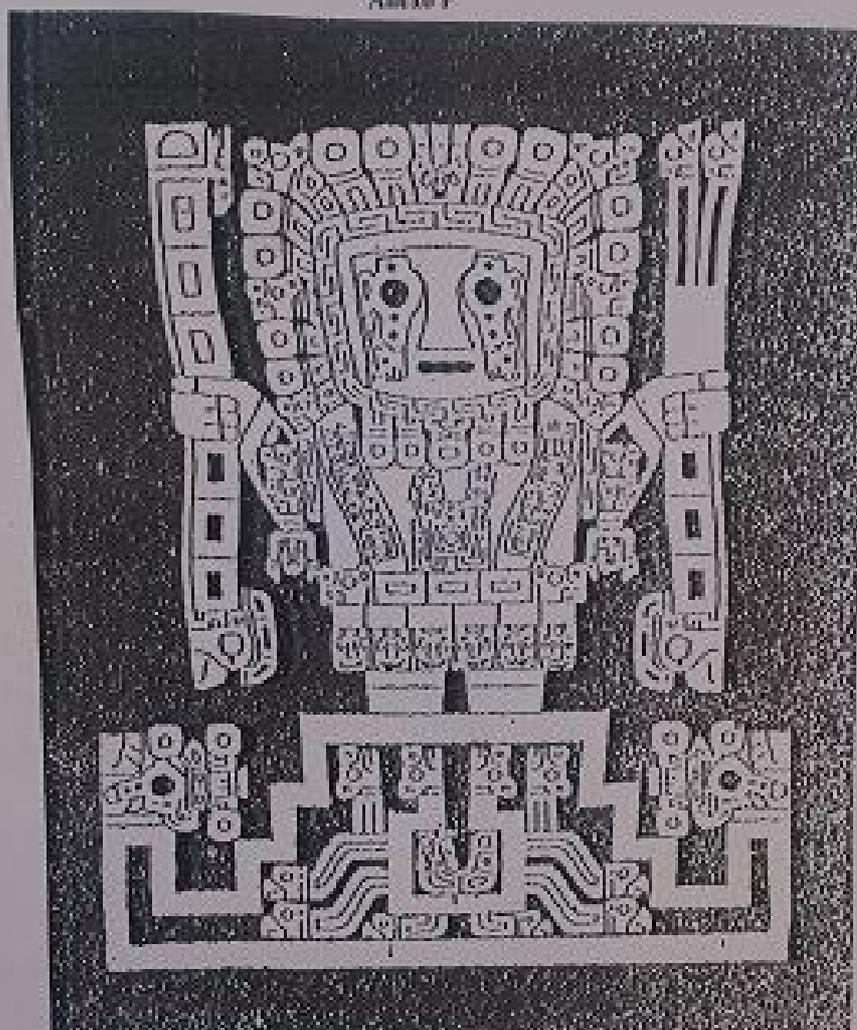


CARITA TIWANACOTA GENERADO POR AUTÓMATA CELULAR



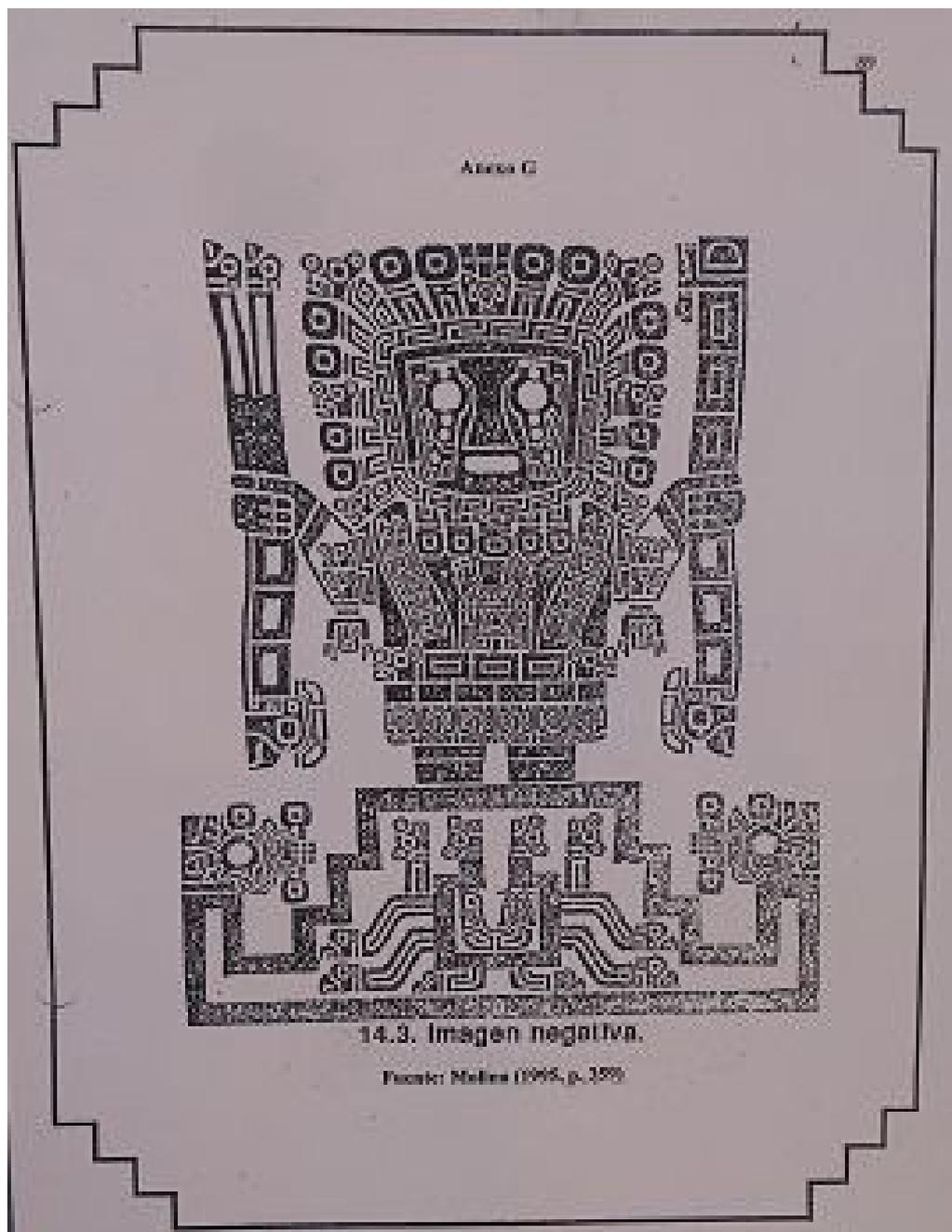
ROSTRO DE FELINO GENERADO POR AUTÓMATA CELULAR

Anexo F



14.2. Real positiva.

Fuente: Molina (1995, p. 359)



DOCUMENTOS



La Paz, Junio de 2015

Señor

M. Sc. Edgar Clavijo Cárdenas

DIRECTOR

CARRERA DE INFORMÁTICA

FAC. CIENCIAS PURAS Y NATURALES

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS

Presente.-

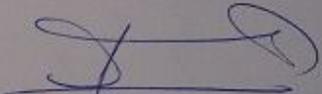
Ref.: AVAL PARA LA DEFENSA DE TESIS DE GRADO

De mi mayor consideración:

Mediante la presente, me dirijo a su Autoridad, en calidad de **Tutor Metodológico** para informar que luego de haber realizado el seguimiento de la Tesis de Grado titulado: "DISEÑO ARQUEOLÓGICO TIWANACOTA VIRTUAL MEDIANTE AUTÓMATAS CELULARES" presentado por el Univ. Heriberto Wilson Quispe Salgado con C.I. 3430954 L.P., para optar al título de Licenciatura en Informática, Mención Ingeniería de Sistemas Informáticos.

En este sentido, presento mi **conformidad y aval** respectivo para la defensa pública de la Tesis de Grado de acuerdo a Reglamento vigente en la Universidad Mayor de San Andrés.

Sin otro particular, me suscribo con las atenciones más distinguidas.



M. Sc. Jorge Terán Pomier
TUTOR METODOLÓGICO

c.c. Arch

La Paz, Junio de 2015

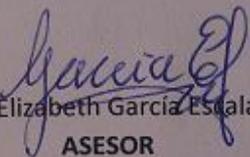
Señor
M. Sc. Jorge Terán Pomier
TUTOR METODOLÓGICO
Presente.-

Ref.: CONFORMIDAD Y AVAL DE TESIS DE GRADO

De mi mayor consideración:

Tengo a bien dirigirme a su persona, para darle a conocer que luego de efectuar el seguimiento a la estructura y contenido de la Tesis de Grado titulado: "DISEÑO ARQUEOLÓGICO TIWANACOTA VIRTUAL MEDIANTE AUTÓMATAS CELULARES", elaborado por el Universitario: Heriberto Wilson Quispe Salgado, con C.I. 3430954 L.P., en calidad de **Asesor** expreso mi conformidad con el contenido y la forma de trabajo, dando **mi Aval**, para que el postulante pueda realizar la defensa de la Tesis de Grado, para optar al título de Licenciado en Informática mención Ingeniería de Sistemas Informáticos, de acuerdo a normas y reglamento vigentes.

Sin otro particular, me suscribo de su persona con las consideraciones más distinguidas.



M. Sc. Elizabeth Garcia Escalante
ASESOR

c.c. Arch.